

Julius Koskinen

JATKUVAN SORTUMAN ESTÄMINEN SIDERAUDOITUKSILLA

Suunnitteluohje asuinkerrostaloille

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Kandidaatintyö
Kesäkuu 2019

TIIVISTELMÄ

Julius Koskinen: Jatkuvan sortuman estäminen sideraudoituksilla
(Prevention of progressive collapse in buildings using an integrated system of ties)
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Kesäkuu 2019

Rakennuksen vaurionsietokyky tulee varmistaa onnettomuustilanteessa siten, että koko rakennus tai sen merkittävä osa ei sorru yksittäisen rakenneosan vaurion seurauksena. Jatkuvan sortuman estämisen pääasiallisia menettelytapoja asuinkerrostaloissa ovat onnettomuusrajatilassa mitoitettu sidejärjestelmä, vaihtoehtoisten kuormansiirtoreittien menetelmä ja avainasemassa olevan rakenneosan menettely. Sidejärjestelmä on ensisijainen menettelytapa lähes kaikissa asuinkerrostaloissa.

Sidejärjestelmä on kokonaisuus, johon kuuluvat vaakasiteet, pilarien ja seinien sidonta välipohjaan sekä pystysiteet. Sidejärjestelmän tavoitteena on luoda rakennuksesta yhtenäinen kokonaisuus yhteen kiinnittyvien siderautojen avulla. Onnettomuusrajatilassa siderautojen tehtävänä on mahdollisen kantavan rakenteen vaurioituessa jakaa kuormaa useammille rakenneosille ja saada siten pidettyä rakenne stabiilina ilman jatkuvaa sortumaa.

Sidejärjestelmän siteiden mitoitus riippuu eurokoodijärjestelmän mukaisesta rakennuksen seuraamusluokasta onnettomuustilanteessa. Seuraamusluokka määräytyy asuinrakennuksissa kerrosmäärän perusteella. Onnettomuusrajatilassa mitoitettu sidejärjestelmä, tai osa siitä, on vaadittu aina seuraamusluokissa CC2a – CC3a, jotka vastaavat 3-15 kerroksisia asuinrakennuksia. Seuraamusluokan CC3b eli yli 15 kerroksisissa asuinrakennuksissa vaurionsietokyvyn varmistamisen menettelytapa valitaan riskinarvioinnin perusteella.

Sideraudoitus mitoitetaan jatkuvan sortuman estämiseksi omana kuormitustapaukseen tilanteessa, jossa ei ajatella vaikuttavan muita samanaikaisia kuormia. Onnettomuusrajatilassa mitoitettu sideraudoitus ei ole oma sidekokonaisuus, vaan siihen voi hyödyntää murto- ja käyttörajatilannemitoituksen raudoitusta kokonaisuudessaan.

Sidejärjestelmän laskennallisessa mitoituksessa on periaatteena laskea eri sidejärjestelmän osille tulevat vetovoimat onnettomuustilanteessa ja mitoittaa sideraudat laskettujen sidevoimien mukaan. Seuraamusluokissa CC2 ja CC3 sidevoimien laskenta eroaa toisistaan.

Avainsanat: Jatkuva sortuma, sidejärjestelmä, sideraudoitus, vaurionsietokyky, rakennesuunnittelu

ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö tehtiin Insinööritoimisto Jonecon Oy:lle, joka on erikoistunut asuinrakennusten rakenne- ja elementtisuunnitteluun. Kandidaatintyön aihe oli yksi kandidaattintyönohjaaja Olli Kerokosken ehdottamista aiheista.

Haluan kiittää erityisesti Jonecon Oy:n toimitusjohtajaa DI Jouni Koskista, rakennesuunnittelupuolen osastopäällikköä DI Jani Lipsasta, projektipäällikköä RI Jukka Kudjoita ja muita tässä työssä avustaneita henkilöitä Jonecon Oy:ssä. Kiitän myös kandidaattintyönohjaaja TkT Olli Kerokoskea kärsivällisyydestä, joka mahdollisti kandidaatintyön tekemisen tästä aiheesta Jonecon Oy:lle.

Tampereella, 14.6.2019

Julius Koskinen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	JATKUVA SORTUMA.....	2
2.1	Jatkuva sortuma käsitteenä	2
2.2	Jatkuvan sortuman syyt ja eteneminen	3
2.3	Jatkuvan sortuman huomioiminen suunnittelussa	4
2.4	Paikallisen vaurion hyväksyttävä raja.....	5
3.	KEINOT RAKENNUKSEN VAURIONSIETOKYVYN VARMISTAMISEKSI.....	6
3.1	Jatkuvan sortuman estämiskeinot	6
3.2	Vaihtoehtoiset kuormansiirtoreitit	6
3.3	Avainasemassa oleva rakenneos.....	7
4.	MENETTELYTAVAT JATKUVAN SORTUMAN ESTÄMISEKSI SEURAAMUS- LUOKITTAIN.....	8
4.1	Seuraamusluokat.....	8
4.2	Seuraamusluokka CC1	9
4.3	Seuraamusluokka CC2	10
4.4	Seuraamusluokka CC3	11
5.	SIDEJÄRJESTELMÄ	12
5.1	Yleistä.....	12
5.2	Rengassiteet.....	13
5.3	Sisäpuoliset siteet.....	14
5.4	Seinien ja pilareiden vaakasuora sidonta välipohjaan	15
5.5	Pystysiteet	16
6.	SIDEJÄRJESTELMÄN LASKENNALLINEN MITOITUS MONIKERROKSI- SESSA BETONIRUNKOISESSA RAKENNUKSESSA	22
6.1	Mitoitus	22
6.2	Vaakasiteiden mitoitus	22
6.2.1	Rengas- ja sisäpuoliset siteet seuraamusluokissa CC2a ja CC2b	23
6.2.2	Rengas- ja sisäpuoliset siteet seuraamusluokissa CC3a ja CC3b	24
6.3	Seinien yläpään sidonnan mitoitus välipohjaan vaakasuorasti	25
6.3.1	Seinien ja pilareiden sidonta välipohjaan seuraamusluokissa CC2a ja CC2b	26
6.3.2	Seinien ja pilareiden sidonta välipohjaan seuraamusluokissa CC3a ja CC3b	27

6.4	Pystysiteiden mitoitus (CC2b, CC3a ja CC3b)	27
7.	LASKENTAESIMERKIT ELEMENTTIRAKENNUKSESTA	
	SEURAAMUSLUOKISSA CC2B JA CC3A	28
7.1	Kohde	28
7.2	Seuraamusluokan CC2b laskentaesimerkki	29
7.3	Seuraamusluokan CC3a laskentaesimerkki	32
8.	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET	37

1. JOHDANTO

Rakennuksen jatkuvan sortumisen estäminen sideraudoituksilla tarkoittaa mahdollisissa onnettomuustilanteissa rakennuksen sortuman hallittua rajaamista sideraudoituksia hyödyntäen. Onnettomuustilanteita voivat olla esimerkiksi räjähdys, törmäys tai tulipalo. Tällaisessa tilanteessa alemman kerroksen kantavan rakenteen sortuessa ylemmän kerroksen kantavat rakenteet kantavat sideraudoituksien avulla myös alemmasta kerroksesta aiheutuvat ylimääräiset kuormat ja estävät näin romahdusalueen laajenemisen ylempiin kerroksiin.

Tämän kandidaatintyön aiheena on jatkuvan sortuman estäminen onnettomuustilanteissa. Kandidaatintyössä esitetään tavat varmistaa rakennuksen vaurionsietokyky. Tällä hetkellä rakennusalalla näyttää olevan erilaisia tulkintoja eri menetelmien käytöstä tai tietoisuus sidejärjestelmän käytöstä on puutteellista. Kandidaatintyö on pyritty tekemään käyttäjäystävälliseksi ja helposti ymmärrettäväksi suunnitteluohjeksi rakennesuunnittelijoille. Tavoitteena on esittää sidejärjestelmän käytön periaate ja sen mitoitus siten, että se auttaa ja yhtenäistää rakennesuunnittelijoiden työtä. Kandidaatintyö tehdään Insinööri-toimisto Jonecon Oy:lle.

Rakennusten jatkuva sortuma suunnitellaan estettäväksi yleensä sideraudoituksia, vaihtoehtoisia kuormansiirtoreittejä, avainasemassa olevan rakenneosan menetelmää tai muita menetelmiä käyttämällä. Tässä työssä keskitytään ensisijaisesti sideraudoituksien käyttämiseen, joka on ohjeen RIL 201-4-2017 mukaan ensisijainen menetelmä. Ohjeen mukaan muita menetelmiä käytetään vain, jos sidejärjestelmän käyttö ei ole mahdollista tai se ei ole riittävä. Muut jatkuvan sortuman estämisen menetelmät esitetään kandidaatintyössä suppeasti.

Työn aihe rajataan sidejärjestelmiin 3-15 kerroksisissa betonirunkoisissa asuinrakentamiskohteissa, jotka ovat kantavat seinät-ontelolaatta-runkoisia ja joiden seuraamusluokat ovat onnettomuusmitoitustilanteissa CC2a, CC2b ja CC3a. Muut seuraamusluokat CC1 ja CC3b käsitellään vain informatiivisesti.

2. JATKUVA SORTUMA

2.1 Jatkuva sortuma käsitteenä

Eurokoodin 1990 [4, s. 44] perusvaatimuksien mukaan ”rakenne tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että esimerkiksi räjähdys, törmäys tai inhimillinen erehdys ei vaurioita sitä alkuperäiseen syyhyn nähden suhteettoman paljon”. Rakennuksen vaurionsietokyvyn tulee olla seuraamusluokkansa vaatimaa tasoa. Rakennusinsinööriliiton ohjeen RIL 201-4-2017 [1, s. 17] mukaan ”vaurionsietokyky tarkoittaa rakenteen kestävyyttä, stabiiliutta, sitkeyttä ja osin myös turvallisuutta onnettomuustilanteessa, tai niitä kaikkia yhdessä”. Toisin sanoen vaurionsietokyky tarkoittaa rakenteen kykyä olla vahingoittumatta alkuperäiseen syyhyn nähden suhteettoman laajasti onnettomuuden, kuten esimerkiksi räjähdys tai törmäyksen, seurauksena [2, s. 20]. Jatkuva sortuma on mahdollinen rakennuksen vaurionsietokyvyn ollessa riittämätön.

Rakenteen vaurionsietokyvyn ollessa riittämätön ja rakenteen paikallisesti vaurioituessa onnettomuuden seurauksena voi rakenteen stabiilius ja sitkeys kärsiä ja aiheuttaa etenevän laajamittaisen vaurion, jota kutsutaan jatkuvaksi sortumaksi. Jatkuva sortuma johtuu paikallisen vaurion aiheuttamasta voimien uudelleen jakautumisesta rakenteen muille osille. Jatkuva sortuma voi laajeta nopeasti tai se voi edetä hitaasti rakenneosien pettäessä yksi toisensa jälkeen, kun rakenneosille tarkoitetut kuormitukset ylittyvät kuormien uudelleen jakautuessa. [1, s. 20] Kuvassa 2.1 on esimerkki Englannin Lontoossa vuonna 1968 tapahtuneesta asuinkerrostalon jatkuvasta sortumasta, joka aiheutui 18. kerroksessa tapahtuneen kaasuräjähdys seurauksena.



Kuva 2.1. Vuonna 1968 kaasuräjähdyksestä aiheutunut jatkuva sortuma [13].

2.2 Jatkuvan sortuman syyt ja eteneminen

Jatkuva sortuma syntyy aina paikallisen vaurion (alkusortuman) seurauksena [3, s. 37]. Paikallinen vaurio voi syntyä ennakoitavissa olevan onnettomuuskuorman eli esimerkiksi räjähdyksen tai törmäyksen seurauksena tai ennakoimattomasta onnettomuustilanteesta, kuten esimerkiksi rakenteen materiaali-, suunnittelu-, valmistus- tai asennusvirheestä [1, s. 17].

Paikallinen vaurio voi aiheuttaa rakenteen kantavuuden menetyksen, jolloin vaurioituneen rakenteen kantama kuorma jakautuu uudelleen muille rakenteille. Jos muut rakenteet kantavat niille uudelleen jakautuneen lisäkuorman, sortuma pysähtyy. Rakenteiden

kantavuuden ollessa riittämätön syntyy jatkuva sortuma, joka jatkuu, kunnes jokin rakenne kantaa uudelleen jakautuneet kuormat tai jatkuva sortuma on päättynyt täydelliseen rakennuksen sortumiseen. [1, s. 20] Kuvassa 2.2 on esimerkki jatkuvan sortumisen etenemisestä.



Kuva 2.2. Esimerkki jatkuvan sortuman etenemisestä [1, s. 21].

2.3 Jatkuvan sortuman huomioiminen suunnittelussa

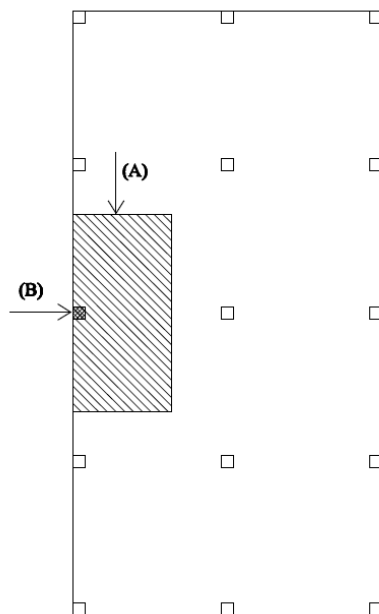
Rakenteet tulee suunnitella siten, että paikallisen vaurion tapahtuessa koko rakenne tai sen merkittävä osa pysyy stabiilina. Suunnittelussa tämä huomioidaan siten, että tutkitaan rakennetta tapauksissa, joissa kantava tai jäykistävä rakenne on menetetty. Jäljelle jääneiden rakenteiden tulee kyetä kantamaan menetettyjen rakenteiden kuormat kuormien uudelleen jakautumisen jälkeen. [2]

Vastaavan rakennesuunnittelijan vastuulla on RIL 201-4-2017 –ohjeen [1, s. 25] mukaan "varmistaa, että rakenteilla on riittävä vaurionsietokyky ja rakenteiden jatkuva sortuma on asiallisesti estetty siten, että rakenteet vastaavat sekä ennakoitavissa olevien että ennakoimattomien onnettomuustilanteiden varalta tehtyjä vaatimuksia huomioon ottaen kohteen seuraamusluokitus". Tämä tarkoittaa käytännössä, että vastaava suunnittelija on normaalissa mitoituksessa noudattanut voimassa olevia määräyksiä ja ohjeita.

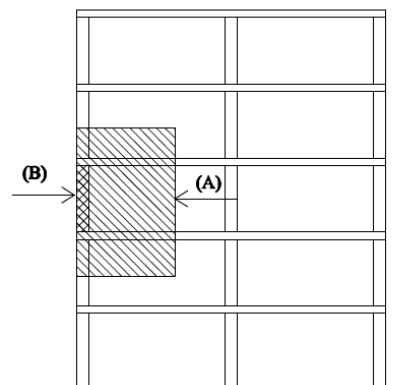
2.4 Paikallisen vaurion hyväksyttävä raja

Standardin SFS-EN 1991-1-7 [2, s. 26] mukaan onnettomuuksien aiheuttamien seuraamusten välttäminen kokonaan on käytännössä mahdotonta, jolloin täytyy hyväksyä riski mahdollisten onnettomuuksien seuraamuksille. Standardin kohdan 3.3(2) mukaan ”onnettomuuskuormien aiheuttamaa paikallista vauriota voidaan pitää hyväksyttävänä jos rakenteen kestävyys kokonaisuutena säilyy ja sallii välttämättömien pelastustoimenpiteiden suorittamisen”.

Ympäristöministeriön asetuksen 10/16 kohdan 4 § [5] mukaan monikerroksisen rakennuksen paikallisen vaurion suurin mahdollinen arvo on 15 prosenttia onnettomuuskerroksen lattiapinta-alasta ja korkeintaan 100 m² yhdessä kerroksessa. Paikallinen vaurio saa tapahtua enintään kahden päällekkäisen kerroksen rakenteissa. Kuva 2.3 havainnollistaa hyväksyttävän rajan sisällä olevaa aluetta.



a) Tasopiiirros



b) Poikkileikkaus

(A) Paikallinen vaurio

(B) Poistettavaksi ajateltu pilari

Kuva 2.3. Paikallisen vaurion hyväksyttävä laajuus monikerroksisissa rakennuksissa [3, s. 36].

3. KEINOT RAKENNUKSEN VAURIONSIIETOKY- VYN VARMISTAMISEKSI

3.1 Jatkuvan sortuman estämiskeinot

Jatkuva sortuma tulee estää käyttämällä vähintään yhtä ympäristöministeriön asetuksessa [5, s. 2] mainittua menetelmää. Sidejärjestelmä on lähtökohtainen menettelytapa seuraamusluokissa CC2a, CC2b ja CC3a. Seuraamusluokassa CC3b tulee jatkuvan sortuman estämisen menettelytavan valintaa edeltää riskinarviointi sekä nurkkapilaritarkastelu. Riskinarvioinnilla tarkoitetaan rakenteen toimintaa uhkaavien tekijöiden ja kriittisten rakenneosien tunnistamista ja niiden huomioon ottamista vaurionsietokyvyn varmistamisessa. Nurkkapilaritarkastelussa tutkitaan ulko- tai sisänurkissa olevia pilareita tai seinänosia tilanteessa, jossa ne eivät ole käytettävissä kuormaa kantavana rakenteena. [1, s. 37–38]

Sidejärjestelmän lisäksi rakennuksen vaurionsietokykyä voi varmistaa vaihtoehtoisilla kuormansiirtoreiteillä, avainasemassa olevalla rakennusosalla ja muilla menettelytavoilla esimerkiksi muuttamalla kriittiset yksittäiset rakenneosat jatkuviksi rakenteiksi. Muita menettelytapoja käytetään sidejärjestelmän sijaan vain, jos sidejärjestelmää ei ole mahdollista käyttää. Sidejärjestelmän sijaan käytetään ensisijaisesti vaihtoehtoista kuormansiirtoreittiä. Avainasemassa olevan rakenneosan menettelyä käytetään vain, jos kumpakaan aiemmin mainittua ei voi käyttää. [1, s. 37–38, 53] Sidejärjestelmä on esitetty tarkemmin luvussa 5.

3.2 Vaihtoehtoiset kuormansiirtoreitit

Vaihtoehtoisten kuormansiirtoreittien menettelyssä periaatteena on, että paikallisen vaurion tapahduttua tilanteessa, jossa jokin rakenne menettää kuorman kantokyvyn, kuormat siirtyvät uutta reittiä perustuksille asti [1, s. 45]. Uuden reitin rakenneosien kestävyys suunnitellaan onnettomuustilanteen mitoituskuormille [1, s. 137].

Vaihtoehtoisia kuormansiirtoreittejä tutkitaan suunnitteluaikana poistamalla rakenneosia mielivaltaisesti ja tarkastamalla, miten voimat siirtyvät rakennuksessa ja kestäkö rakennus tämän uuden kuormitustilanteen. Erilaisia tapauksia tulee lukuisia ja menetelmä vaatii sen tähden yleensä FEM-laskentaa. Riittävää määrää erilaisia onnettomuustapauksia ei ole mainittu asiaa koskevissa standardeissa eikä asetuksissa. Suunnittelun lähtökohtana on, että rakenneosan poistamisesta ei synny paikallisen

vaurion hyväksyttävän rajan ylittävää arvoa. Paikallisen vaurion hyväksyttävä raja on selitetty tarkemmin luvussa 2.4. [1, s. 45–47]

3.3 Avainasemassa oleva rakenneosa

Avainasemassa oleva rakenneosa on ”kantava rakenneosa, josta koko muun rakenteen stabiilius riippuu” [2, s. 18]. Menettelytapaa tulee käyttää vain tapauksissa, joissa sidejärjestelmän tai vaihtoehtoisen kuormansiirtoreitin käyttö ei ole mahdollista tai menetelmä vaatisi liian monimutkaisia, työläitä tai kalliita rakenneratkaisuja [1, s. 47].

Avainasemassa olevan rakenneosan periaatteena on kestää onnettomuuskuorma A_d . Avainasemassa olevalle rakenneosalle lasketaan määräävä kuormitustapaus ja lisätään siihen onnettomuuskuorma A_d , joka voi olla jakautunut tai pistemäinen. Standardi SFS-EN 1991-1-7 suosittelee tasaisesti jakautunutta nimelliskuormaa, ”joka vaikuttaa avainasemassa olevaan rakenneosaan missä tahansa suunnassa ja mihin tahansa siihen kiinnitettyihin komponentteihin”. Ympäristöministeriön asetus 10/16 rakenteiden onnettomuuskuormia koskevista kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN 1991-1-7 (6 §, 4. momentti, 2016) vaatii, että ”Standardin kohdan 3.3(2) huomautuksen 1 mukainen avainasemassa olevaan rakennusosaan vaikuttava onnettomuuskuorma A_d on määritettävä riskiarvioinnin perusteella ja perustelut käytettävälle arvolle on sisällytettävä suunnitteluasiakirjoihin ja kirjattava”. Riskiarviointi on mahdollista välttää käyttämällä standardin onnettomuuskuorman A_d suositusarvoa 34 kN/m^2 [5, s. 2-4].

4. MENETTELYTAVAT JATKUVAN SORTUMAN ESTÄMISEKSI SEURAAMUSLUOKITTAIN

4.1 Seuraamusluokat

Seuraamusluokalla tarkoitetaan rakenteen tai rakenteen osan vaurioista johtuvien seuraamusten vakavuuden luokitusta onnettomuustilanteissa. Seuraamukset ovat hengenmenetyksiä, taloudellisia, sosiaalisia tai ympäristövahinkoja. Seuraamusluokkien pääluokat ovat CC1, CC2 ja CC3. CC1-luokassa vauriot ovat vähäiset, CC2-luokassa keskisuuret ja CC3-luokassa suuret. [4, s. 136] Seuraamusluokat on esitetty esimerkkeineen alla olevassa taulukossa 4.1.

Taulukko 4.1 Seuraamusluokkien määrittely standardin SFS-EN 1990 mukaisesti täydennettynä kansallisen liitteen esimerkeillä [1, s. 133].

Seuraamusluokka	Kuvaus	Esimerkkejä rakennuksista sekä maa- ja vesirakennuskohteista
CC3	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia.	Pääkatsomot; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat suuret (esim. konserttitalo). <i>Rakennuksen kantava runko¹⁾ jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä, kuten</i> <ul style="list-style-type: none"> – yli 8-kerroksiset²⁾ asuin-, konttori- ja liikerakennukset – konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot – raskaasti kuormitetut tai suuria jänneväljä sisältävät rakennukset. <i>Erikoisrakenteet, kuten esim. korkeat tornit. Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet, jotka sijaitsevat siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä erityisesti hienorakeisten maalajien alueilla.</i>
CC2	Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia.	Asuin- ja liikerakennukset; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat keskisuuret (esim. toimistorakennus). <i>Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1.</i>
CC1	Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia.	Maa- ja metsätalousrakennukset, joissa ei yleensä oleskele ihmisiä (myös esim. varastorakennukset), kasvihuoneet. <i>1- ja 2-kerroksiset²⁾ rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä³⁾, kuten esim. pienenköt varastot ja maatalouden tuotantorakennukset, joiden pinta-ala on enintään 300 m² tai suurin jänneväli enintään 6 metriä.</i> <i>Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa, kuten</i> <ul style="list-style-type: none"> – matalalla olevat terassit ja alapohjat, ilman kellaritiloja – ryömintätilaiset vesikatot, kun yläohja on varsinainen kantava rakenne – sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän rungon osana.

Seuraamusluokkien pääluokat CC2 ja CC3 jaetaan vielä rakennuksen ja rakenteiden koon mukaan onnettomuusmitoitustilanteissa alaluokkiin, joiden perusteella valitaan keinot jatkuvan sortuman estämiseksi. Alaluokkia ovat CC2a, CC2b, CC3a ja CC3b. Mahdolliset seuraamukset ovat suurempia luokassa b kuin luokassa a. [5, § 5] Standardin SFS 1991-1-7 kansallinen liite [3, s. 37] määrittelee periaatteet alaluokan valinnalle. Seuraamusluokat on esitetty esimerkkeineen taulukossa 4.2. Rakennuksen eri osat voivat kuulua eri seuraamusluokkiin [1, s. 34].

Taulukko 4.2 Onnettomuustilanteen seuraamusluokkien alaluokat standardin SFS-EN 1991-1-7 mukaisesti [1, s. 34].

Seuraamus-/ alaluokka	Rakennukset ja niiden käyttötarkoitus
CC1	1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä, kuten esimerkiksi varastot.
CC2a melko pienen riskin ryhmä	Rakennukset, joissa on korkeintaan 4 maanpäällistä kerrosta tai joiden korkeus maanpinnasta on enintään 16 m. Asuinrakennukset, joissa on korkeintaan 2 maanpäällistä kerrosta, voidaan suunnitella onnettomuusmitoitustilanteessa seuraamusluokan 1 mukaisesti.
CC2b melko suuren riskin ryhmä	Kaikki muut rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu alaluokkiin 1, 2a tai 3.
CC3a	9–15 kerroksiset asuin-, konttori- ja liikerakennukset, ja muut 9–15 kerroksiset käyttötarkoitukseltaan ja rungoltaan samantyyppiset rakennukset; kerrosten lukumäärään luetaan kellarikerrokset mukaan.
CC3b	a) muut yli 8-kerroksiset rakennukset kellarikerros mukaan luettuna b) konserttisalit, teatterit, urheilu ja näyttelyhallit, katsomot c) raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset, joissa usein on suuri joukko ihmisiä d) erikoisrakenteet tapauskohtaisen harkinnan mukaan.

4.2 Seuraamusluokka CC1

Seuraamusluokan CC1 rakennuksissa tekniset vaatimukset ovat pienimmät. Luokassa riittää rakenteiden normaali mitoitus murto- ja käyttörajatilamitoituksineen. Rakenneraikaisua pidetään riittävänä, jos rakenneosat ja niiden liitokset ovat murtorajatilassa riittävät ja ne täyttävät niille asetetut ehdot ja säilyvyysvaatimukset käyttörajatilatarkastelussa. [1, s. 36] Seuraamusluokan CC1 toimintaperiaatteet ovat vaatimuksena myös korkeampien seuraamusluokkien suunnittelutyössä [3, s. 39]. Seuraamusluokassa CC1 ei vaadita tarkastelua ajoneuvojen törmäysten [3, s. 46] ja ennakoimattomien onnettomuustilanteiden varalta [1, s. 36].

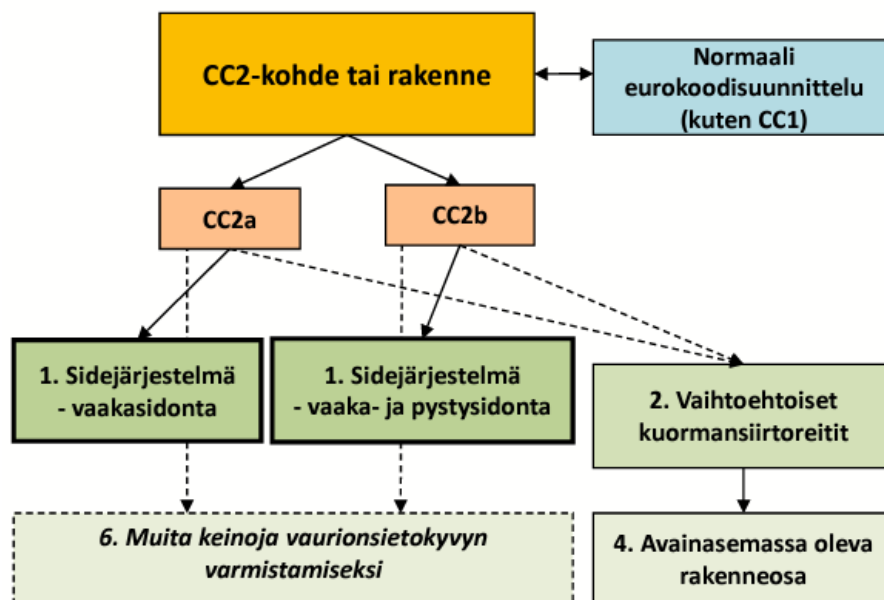
Seuraamusluokkaan kuuluvat rakennukset on luokiteltu ristiriitaisesti standardin 1991-1-7 kansallisen liitteen ohjeistuksessa [3, s. 37–38]. Kansallinen liite esittää seuraamusluokkaan CC1 kuuluvan ”1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä, kuten esimerkiksi varastot”. Seuraavassa kohdassa kansallinen liite tähdentää, että ”asuinrakennukset joissa on korkeintaan kaksi maanpäällistä kerrosta, voidaan

suunnitella kuitenkin onnettomuusrajatilassa seuraamusluokan 1 mukaisesti”. Rakennuksen vaurionsietokyvyn huomioimisessa tämä tarkoittaa kaksikerroksissa asuinrakennuksessa, että vaatimuksia sidejärjestelmän käytölle ei ole. Betonielementtirakenteisissa kaksikerroksisissa asuinrakennuksissa käytetään sauma- ja rengasteräksiä eli vaakasiteitä tuomaan varmuutta ja sitkeyttä, vaikka kansallinen liite antaa mahdollisuuden olla niitä käyttämättä [14].

4.3 Seuraamusluokka CC2

Seuraamusluokassa CC2 on kaksi alaluokkaa: CC2a ja CC2b. Melko pienen riskin luokassa CC2a voi asuinrakennuksessa olla enintään neljä maanpäällistä kerrosta tai korkeutta enintään 16 metriä maanpinnasta katsottuna. Melko suuren riskin luokkaan CC2b kuuluvat 5-8 kerroksiset asuinrakennukset ja muut rakennukset, jotka eivät kuulu seuraamusluokkiin 1, 2a tai 3. [3, s. 38]

Seuraamusluokan CC2 rakennusten suunnittelu ennakoimattomien onnettomuustilanteiden varalle alkaa seuraamusluokan CC1 vaatimuksista eli normaalista eurokoodin mukaisesta mitoituksesta murto- ja käyttörajatilassa. Lähtökohtaisena menettelytapana molemmissa CC2-luokissa on sidejärjestelmä. CC2-luokassa sidejärjestelmän vaatimukseen tulee vaakasidonnän lisäksi pystysidonta. Muita menettelytapoja käytetään sidejärjestelmän sijaan toissijaisesti tai täydentävästi. Kuvassa 4.1. on havainnollistettuna menettelytavan valinta CC2-luokan rakennuksissa. [1, s. 37]



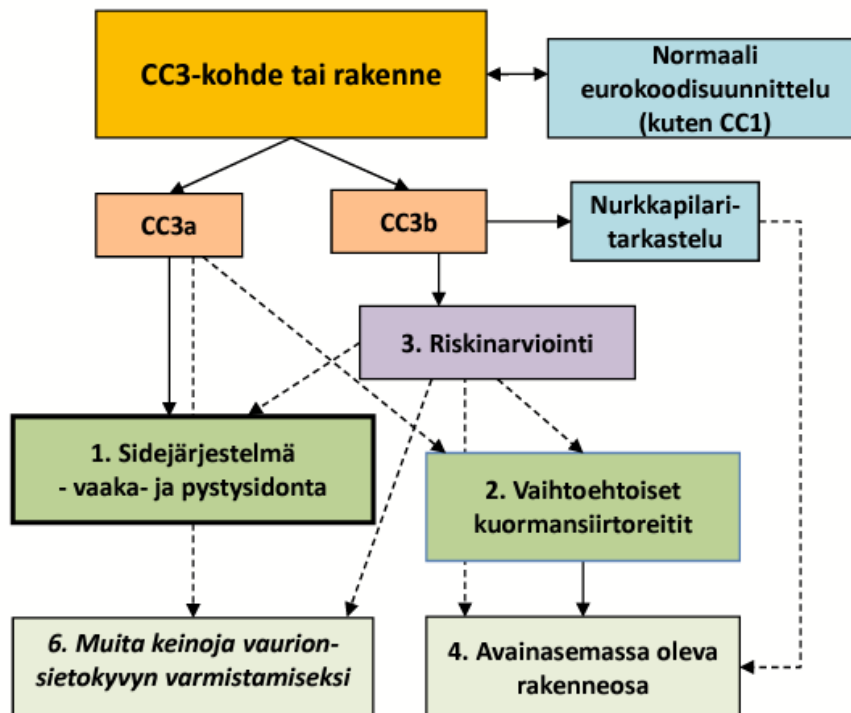
Kuva 4.1. Ennakoimattomien onnettomuustapausten menettelytavat monikerroksisissa rakennuksissa seuraamusluokassa CC2 [1, s. 37].

4.4 Seuraamusluokka CC3

Seuraamusluokassa CC3 on kaksi alaluokkaa: CC3a ja CC3b. Seuraamusluokkaan CC3a kuuluvat asuinrakennukset, joissa on 9-15 kerrosta kellarikerrokset mukaan luetuna. CC3b-luokkaan kuuluvat rakennukset, jotka eivät muihin seuraamusluokkiin mahdu. Lähtökohtaisesti CC3b-luokan asuinrakennukset ovat yli 15 kerroksisia. [3, s. 38]

Seuraamusluokan CC3a rakenteiden vaurionsietokyvyn varmistaminen menee CC2b-luokan mukaisesti. Erot tulevat laskennassa, jossa käytetään eri kaavoja sidevoimien laskemiseen kuin luokassa CC2. [3, s. 39, 41–42] Kuvassa 4.4 on havainnollistettu menettelytavan valinnan kulku.

Seuraamusluokassa CC3b tulee seuraamusluokan CC1 vaatimusten lisäksi vaatimus riskiarvioinnille ja nurkkapilaritarkastelulle. Riskiarvioinnilla pyritään selvittämään mahdolliset riskitekijät ja saamaan käsitys rakennuksen vaurionsietokyvystä. Riskiarvioinnin tuloksena päätetään menettelytavat rakennuksen vaurionsietokyvyn varmistamiseksi. Nurkkapilaritarkastelussa tarkastellaan tilanteita, joissa pilarin tai kantavan seinän osan poiston takia vaakarakenne alkaa toimia vaakasiteitä hyödyntäen ulokkeena. Jos poistetun rakenteen takia syntyy hyväksyttävän rajan ylittävä vaurio, tulee rakenne ajatella avainasemassa olevana rakennusosana. Kuvassa 4.2. on havainnollistettu menettelytavan valinnan kulku. [3, s. 39]



Kuva 4.2. Ennakoimattomien onnettomuustapausten menettelytavat monikerroksisissa rakennuksissa seuraamusluokassa CC3 [1, s. 38].

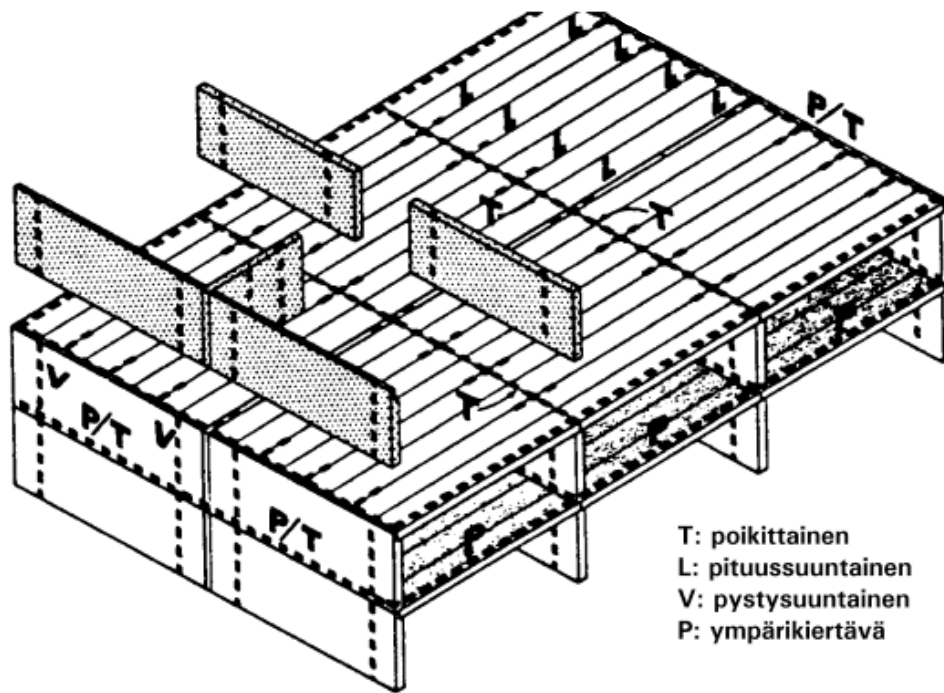
5. SIDEJÄRJESTELMÄ

5.1 Yleistä

Sidejärjestelmällä tarkoitetaan jatkuvan sortuman estämistä sitomalla rakenneosat toisiinsa. Sidonnan tarkoituksena on tehdä yksittäisistä rakenneosista yhdistetty rakenne, joka toimii yhtenäisenä sisäisiä ja ulkoisia voimia vastaan. Välipohjat ja yläpohjat sidotaan seinälohkoihin ja pilareihin, josta syntyy yhtenäinen kokonaisuus. Sidonnan avulla onnettomuustilanteessa syntyvät kuormat jakautuvat useampien rakenneosien kesken ja yksittäinen rakenneosa kestää ennalta määräämättömät kuormat paremmin. Mahdollisessa onnettomuustilanteessa, jossa esimerkiksi yksi betonielementti menettää kuormankantokykynsä, siirtyy vahingoittuneen elementin päällä olevan elementin kuorma vaak- ja pystysiteitä pitkin viereisille ja päällä oleville elementeille, jotka taas siirtävät kuormaa eteenpäin helpottaen yksittäiseen rakenneosaan tulevaa räsitusta.

Sidejärjestelmään kuuluvat vaakasiteet eli rengasteräket ja saumateräket, seinien ja pilareiden sidonta välipohjaan, sekä pystysiteet. Rengassiteillä tarkoitetaan väli- ja yläpohjia kiertäviä siteitä ja sisäpuolisilla siteillä rakennuksessa rengassiteiden sisäpuolella olevia siteitä, kuten esimerkiksi ontelolaattojen välisissä saumoissa olevia saumateräksiä. [3, s. 39] Kuvassa 5.1 on havainnollistettu siteiden toimintaa. Siteet ovat useimmiten normaaleja lujuusluokan B500B harjateräksiä, joilta vaaditaan vetovoimakestävyyttä seuraamusluokan vaatimusten mukaisesti. Standardin SFS-EN 1991-1-7 kansallisen liitteen [3, s. 39] mukaan vaakasiteinä voidaan käyttää ”puuta tai teräs- tai alumiiniprofiileja, betonilaatoissa olevia betoniteräksiä tai betoni-teräs -liittolaatoissa olevia teräsverkko-raudoituksia ja teräsohutlevyistä valmistettuja liittolevyraudoituksia (jos leikkausliittimet yhdistävät ne suoraan teräspalkkeihin). Siteinä voidaan käyttää myös edellä mainittujen tyyppien yhdistelmää.” Siteiltä vaaditaan riittävää muodonmuutoskykyä kuormansiirtokenteena toimimiseen [3, s. 39].

Onnettomuuskuormitusyhdistelmänä jatkuvan sortuman estäminen on oma kuormitustilanne, jonka ei oleteta olevan samanaikainen muiden kuormitustilanteiden kanssa. Normaalin murto- tai käyttörajatilamitoituksen sideraudoituksia saa hyödyntää täysimääräisenä onnettomuuskuormitusyhdistelmän mitoituksessa. Onnettomuuskuormia varten ei tarvitse mitoittaa erillisiä uusia teräksiä, vaan olemassa olevien teräksien riittäessä vaatimukset jatkuvan sortuman estämiseksi on täytetty. Sideraudoitukset tulee valita mitoittavan tilanteen mukaisesti. Joissain tilanteissa muut kuormitustilanteet voivat vaatia onnettomuustilannemitoitusta suurempia teräsmääriä. [6, s. 14–15]

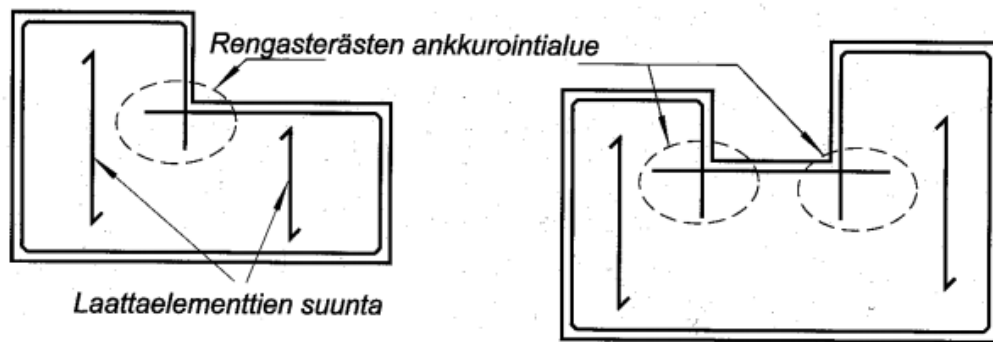


Kuva 5.1. Rakennuksen rungon sidejärjestelmä [6, s. 19].

5.2 Rengassiteet

Rengassiteillä tarkoitetaan laataston ympäri kiertäviä rengasteräksiä. Elementtirakentamisessa tulee jokaisen väli- ja yläpohjan kiertää jatkuva rengasraudoitus elementtien paikalla pysymisen varmistamiseksi. Rengassiteiden etäisyys laataston reunaan saa olla korkeintaan 1,2 metriä. [7]

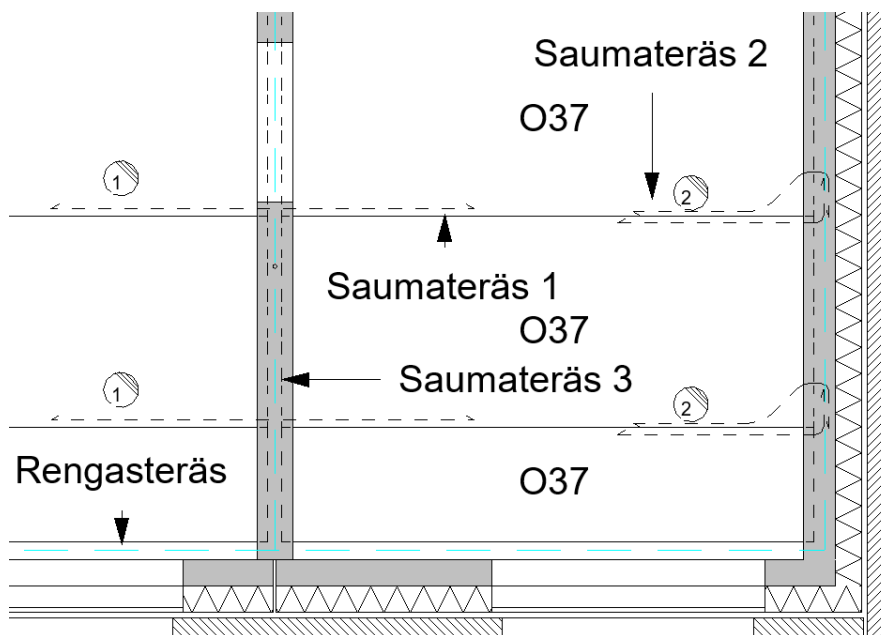
Normaalissa elementtirakentamisessa rengasraudoitus mitoitetaan murtotilamitoituksessa siten, että laataston kohdistuvat vaakavoimat siirtyvät luotettavasti levyvaikutuksen avulla jäykistäville pystyrakenteille eli esimerkiksi kantaville seinille. Seuraamusluokissa CC2a – CC3b tulee rengasraudoitus mitoittaa myös onnettomuusrajatilassa [6]. Rengassiteiden laskennallinen mitoitus on esitetty luvussa 7. Kuvassa 5.2. on esimerkki rengasterästen sijoituksesta laataston ympäri. Kuvassa 5.5 on leikkaus, josta näkee rengasterästen sijainnin ontelolaatan ja kantavan ulkoseinän välisessä valussa.



Kuva 5.2. Rengasteräket ankkurointialueineen [8].

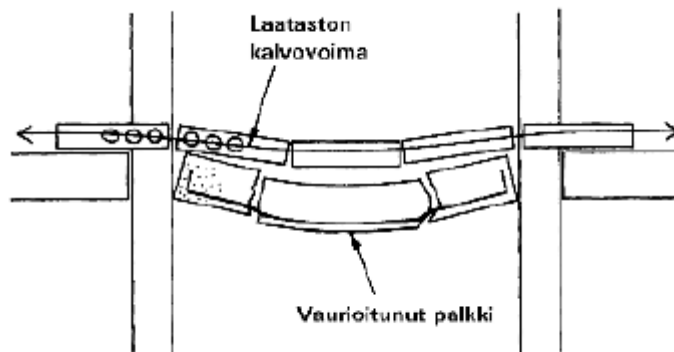
5.3 Sisäpuoliset siteet

Sisäpuolisilla siteillä tarkoitetaan laataston pituussuuntaisia ja poikkisuuntaisia saumateräksiä. Ne sijoittuvat pituussuunnassa esimerkiksi kahden eri ontelolaatan välille saumoihin palkin ylittävässä tilanteessa jatkamaan laattakentän raudoitusta. Poikittaissuunnassa ne sijoittuvat palkkien tai kantavan seinän päälle valuun. Kuva 5.3 on tasokuva, josta näkee saumateräksen sijainnin ontelolaatan pituussuunnassa. Saumateräs 1 on laataston pituussuuntainen saumateräs kahden ontelolaatan välille. Saumateräs 2 on laataston pituussuuntainen saumateräs, joka toimii siteenä ontelolaatan ja kantavan ulkoseinän välillä. Saumateräs 3 on laataston poikkisuuntainen palkin tai kantavan seinän päällä oleva teräs. Saumateräket 2 ja 3 ankkuroituvat rengasteräksiin.



Kuva 5.3. Tasokuvaesimerkki rengas- ja sisäpuolisista siteistä [9].

Sisäiset siteet ovat jatkuvia ja ankkuroidaan seinälinjoilla rengassiteisiin, jos ne eivät jatku vaakasiteinä pilareihin ja seiniin. [8] Saumateräksien tehtävänä on onnettomuustilanteessa saada aikaiseksi laatastolle kalvorakenne, joka estää laattaelementin putoamisen [6]. Kuvassa 5.4. on esitetty saumateräksen mahdollistama kalvovoima laatastolle laataston poikittaissuunnassa. Jokaisessa ontelolaatastossa on oltava kahdessa kohtisuorassa tai lähes kohtisuorassa suunnassa sisäisiä siteitä [8].



Kuva 5.4. Voiman siirtyminen saumateräksen välityksellä vaurioituneen palkin yli ja kalvovoimaesimerkki [6, s. 23].

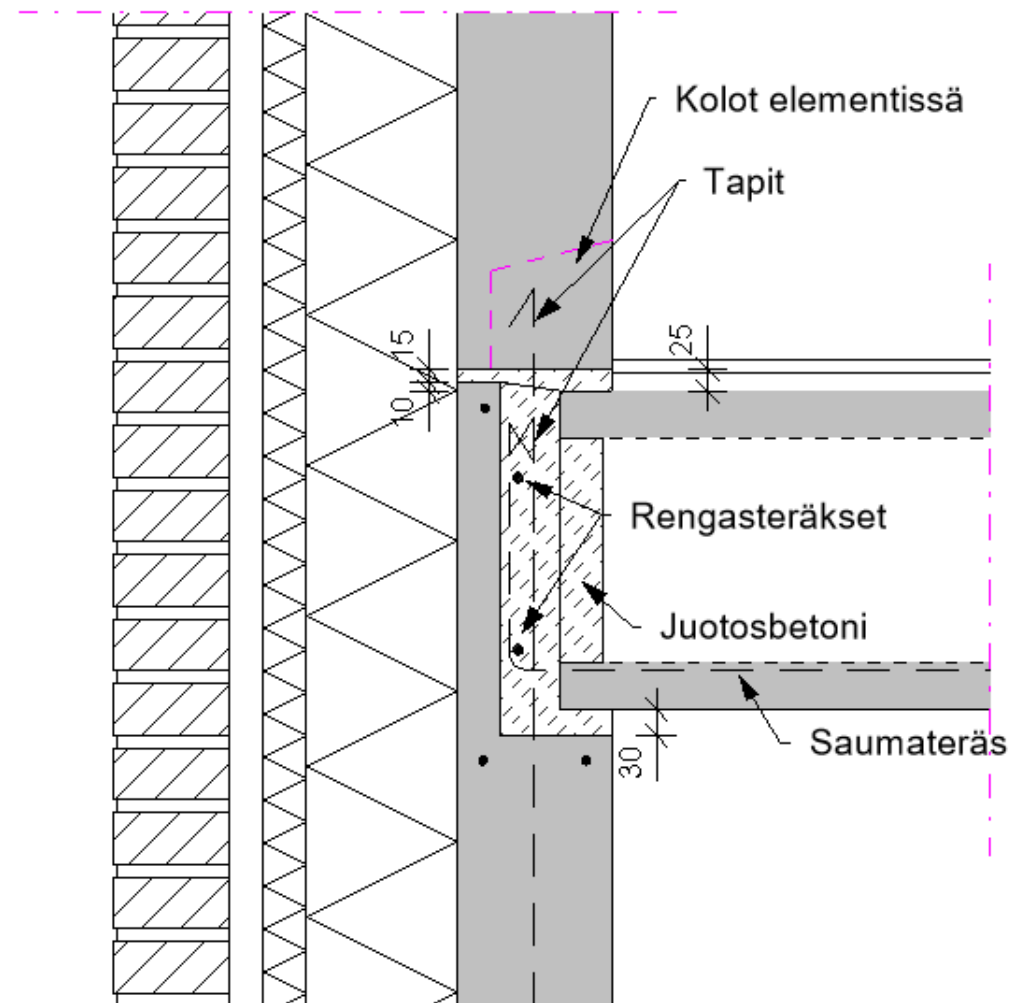
5.4 Seinien ja pilareiden vaakasuora sidonta välipohjaan

Seinien ja pilareiden sidonnalla väli- ja yläpohjaan pyritään saamaan aikaiseksi yhtenäinen liitos seinän tai pilarin ja väli- tai yläpohjan välillä. Sidonnan tarkoituksena on ankkuroida laatan pituussuuntainen side ja vastaanottaa vaakasuorat leikkausvoimat, jotka voisivat aiheuttaa esimerkiksi ontelolaatan putoamisen tulta. [6, s. 31]

Standardin SFS-EN 1991-1-7 kansallisen liitteen [3, s. 42] mukaan ”reunapilarit ja -seinät sidotaan jokaiseen väli- ja yläpohjatasoon.” Kansallinen liite jättää avoimeksi tarkoite- taanko vain kantavia ulkoseiniä vai myös ei-kantavia ulkoseiniä. Betoninormikortti 23 [6, s. 31] tarkentaa, että kantavat- ja jäykistävät reunaseinäelementit tulee sitoa väli- tai yläpohjatasoihin. Betoninormikortista 23 [6, s. 19] lainatusta kuvasta (kuva 5.1.) saa kuitenkin ristiriitaisen käsityksen reunaseinäelementtien sidontavaatimukseen liittyen, koska kuvassa ei ole esitetty ontelolaattojen suuntaisia seiniä. Kuva täytyy tulkita siten, että esimerkkitapauksessa ulkoseinät eivät ole jäykistäviä eikä kantavia, joten ne eivät ole tarpeellisia sidejärjestelmän mitoituksen kannalta.

Myös kantavat- ja jäykistävät väliseinäelementit tulee sitoa yläreunastaan muuhun kantavaan rakenteeseen. Mitoitus väliseinäelementeissä ja reunaseinäelementeissä eroaa toisistaan. [6, s. 31]

Vaakasuora sidonta toteutetaan laattakentän pituus- ja poikittaissuunnassa, mutta onnettomuustilannemitoituksen kannalta merkityksellisiä ovat vain kantavat ja jäykistävät pilarit ja seinät. Pituussuunnassa eli laataston päädyssä sidonta välipohjaan voidaan tehdä tappien ja saumateräksien avulla. Poikittaissuunnassa sidonta voidaan toteuttaa tappien ja vaijerinlenkkien avulla. Kuvassa 5.5 on esimerkki sidonnasta elementtien pituussuunnassa eli päädyissä. Esimerkissä joka toinen tappi eli harjateräs menee ylemmän elementin koloon. Ylemmän seinän alapään sidontaa ei ole vaadittu eurokoodeissa, mutta asennuksen aikaisen elementin alapään luistamisen tuelta estämiseksi seinän alapään sidonta on tarpeellinen.



Kuva 5.5. Esimerkki tapeista ontelolaatan päädyssä [9].

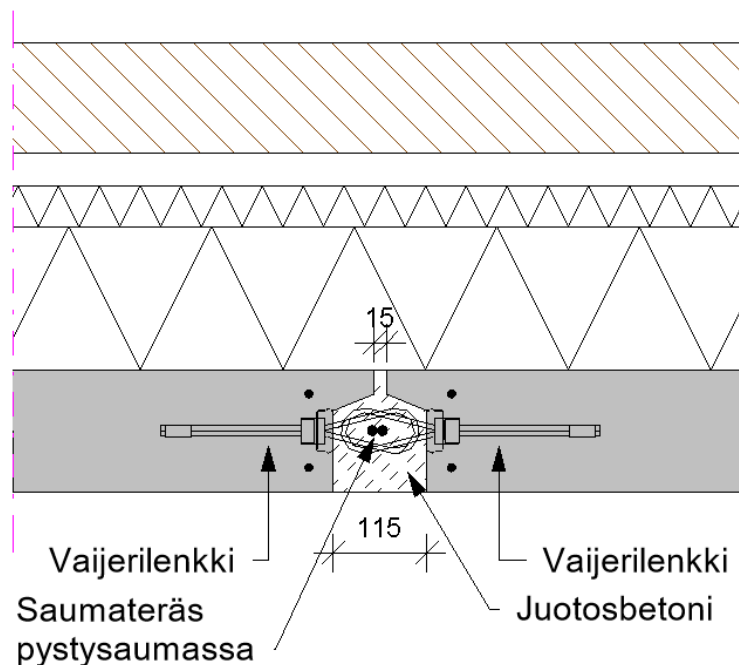
5.5 Pystysiteet

Pystysiteillä tarkoitetaan rakennuksen pilareissa ja seinissä olevia pystysuuntaisia teräksiä, jotka jatkuvat alemmasta rakenneosasta ylempään. Pystysuuntainen sidonta tulee

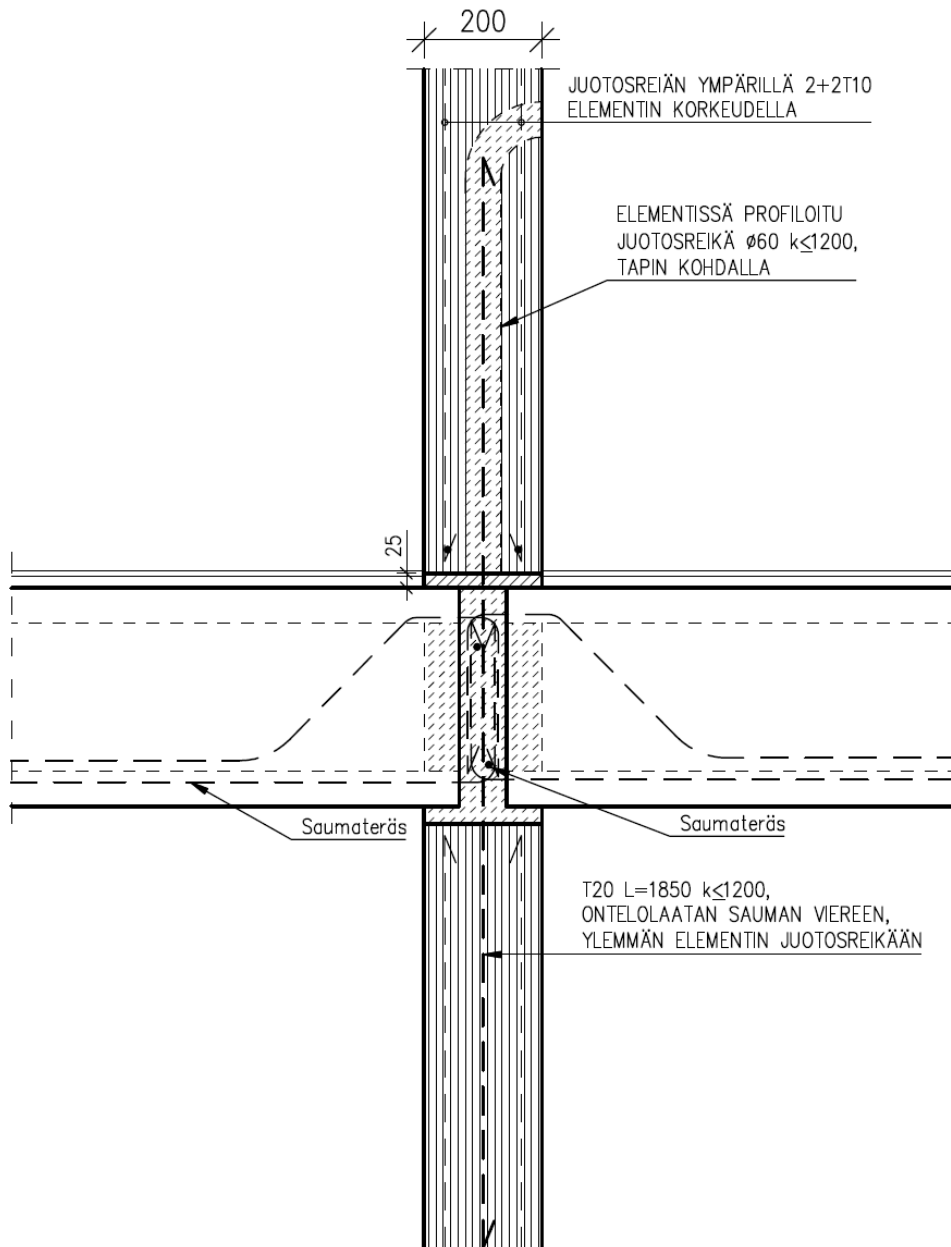
olla jatkuva perustuksista yläpohjaan asti. [3, s. 43] Pystysidonta on vaadittu asuinrakennuksissa seuraamusluokissa CC2b – CC3b [1, s. 37–38].

Standardin SFS-EN 1991-1-7 kansallisen liitteen [3, s. 42] mukaan ”jokainen pilari ja seinä varustetaan jatkuvalla pystysuuntaisella sidonnalla perustuksista yläpohjan tasolle”. Kansallinen liite jatkaa, että ”pilareiden ja kantavien seinien tulee kestää onnettomuusmitoitustilanteessa esiintyvä vetovoima”. Kansallisesta liitteestä ei saa siten selvää käsitystä, missä seinissä pystysiteet tulee olla. Betoninormikortti 23 [6, s. 31] tarkentaa pystysiteiden olevan vaadittu kantavissa ja jäykistävissä seinäelementeissä.

Pystysiteiden tehtävänä rakennuksessa on tuoda pystysuuntaista vetovoimakestävyyttä pilareille ja kantaville seinille onnettomuus tilanteissa. Pilareiden ja kantavien seinien tulee kestää mitoitussarvoinen vetovoima, joka on yhden kerroksen suurin pysyvän ja muuttuvien kuormien yhteissumma. Pystysiteet ankkuroidaan aina ylempiin kerroksiin. [3, s. 43] Standardin SFS-EN 1991-1-7 kansallinen liite [3, s. 43] mukaan ”kantavan seinärakenteen pystysiteet voidaan sijoittaa elementtisaumoihin tai jakaa seinän pituudelle ja reunimmaisat pystysiteet sijoitetaan enintään 3 m etäisyydelle seinän vapaasta päästä”. Pystysiteet tulee ryhmittää enintään 6 m keskiövälein seinälinjalla [11, s. 28]. Seinäelementtien pystysaumojen pystyteräksiä voidaan käyttää myös pystysiteinä. Kuvassa 5.6 on esimerkki pystysiteestä elementtisaumassa, ja kuvassa 5.7 on esimerkki pystysiteestä sisäkuorielementtien nurkkaliitoksessa.

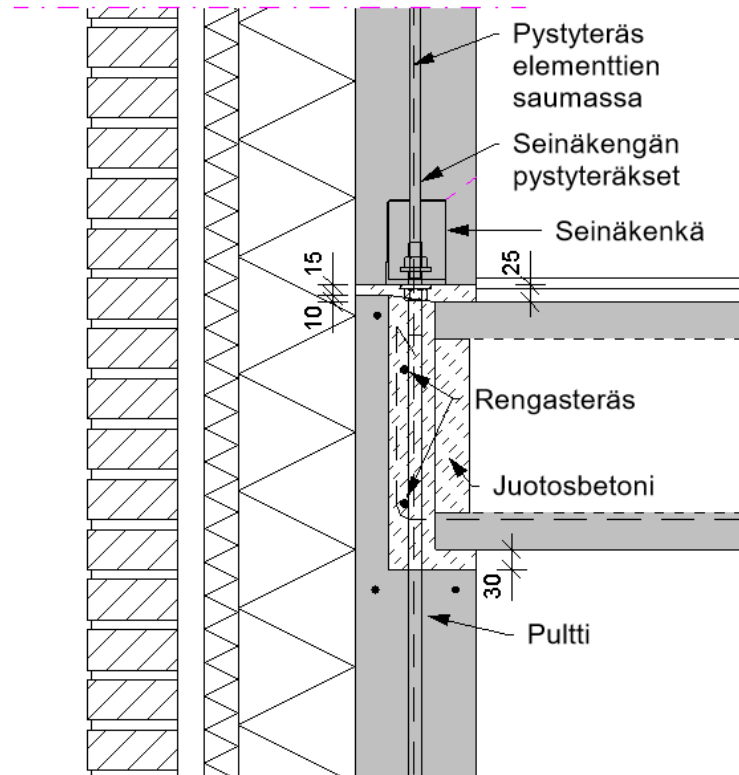


Kuva 5.6. Esimerkki pystysiteestä elementtisaumassa [9].

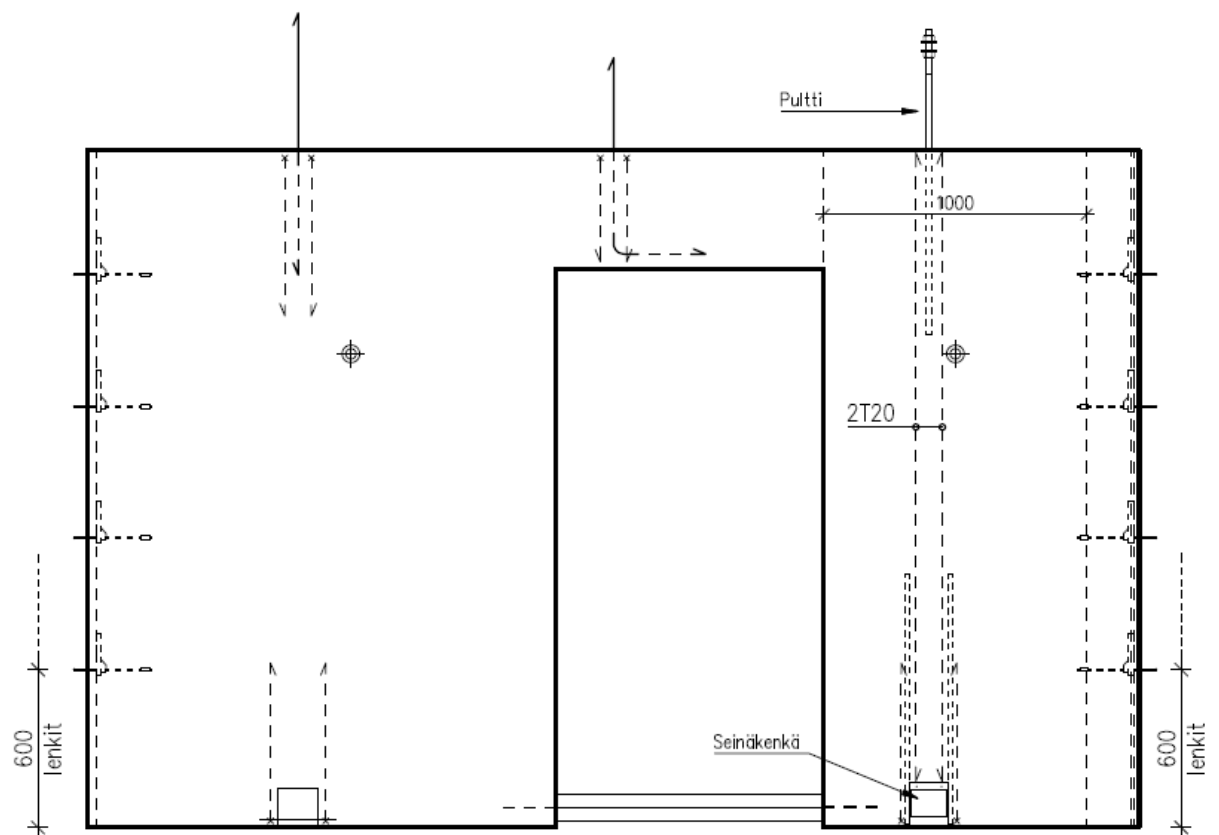


Kuva 5.8. Harjaterästanko ja juotosreikä kantavassa väliseinässä [9].

Seinäkenkä ja harjateräspultti on yleinen pystysideratkaisu. Harjateräspultti on elementtitehtaalla asennettu seinäelementin yläosaan ja seinäkenkä on asennettu vastaavalle kohdalle seinäelementin alaosaan. Seinäkengässä on aukko sivussa, joka valetaan täyteen betonia pultin kiristämisen jälkeen. Kuvassa 5.9 on detali ja kuvassa 5.10 on elementtikuva havainnollistamaan seinäkengän ja harjateräspultin asennusta.

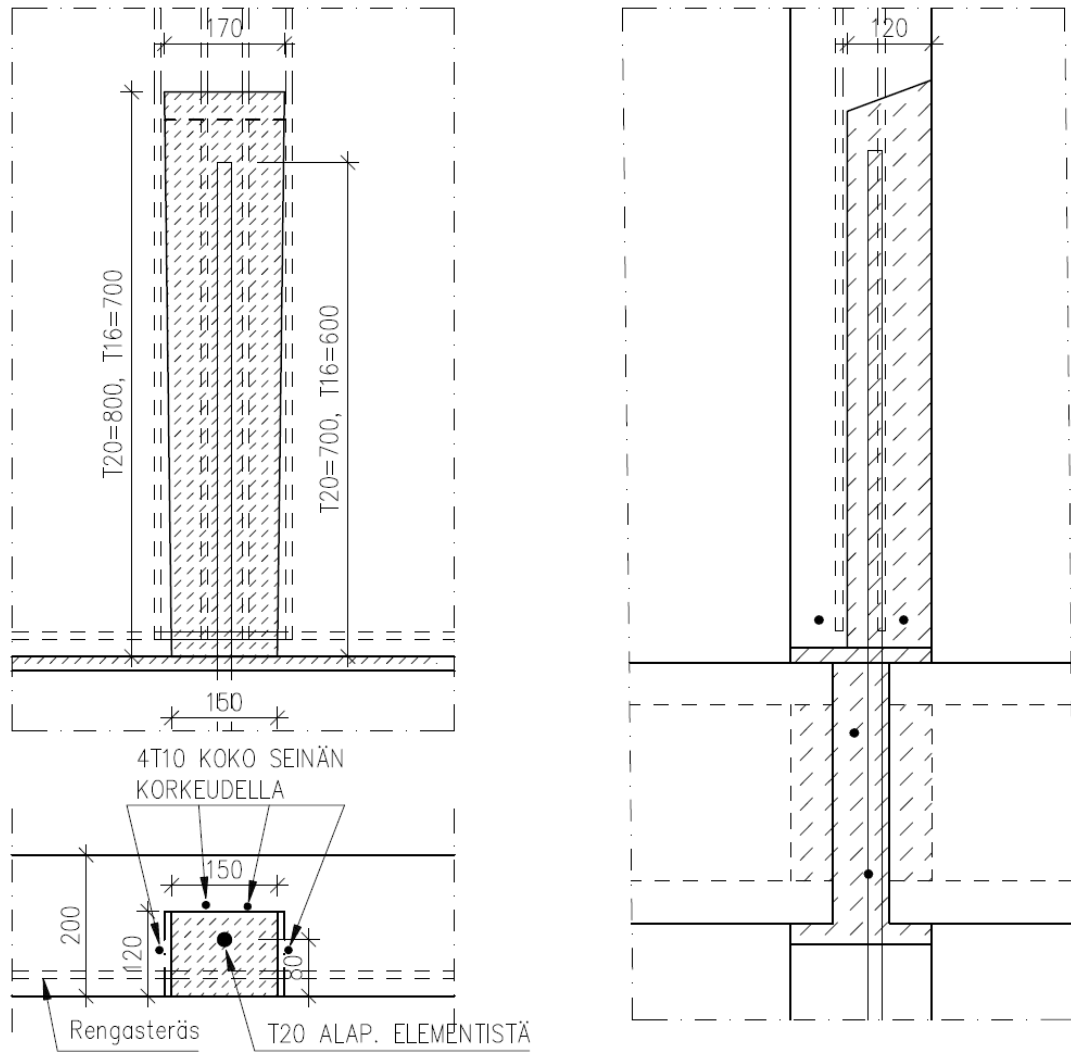


Kuva 5.9. Harjateräspultti ja seinäkenkä esimerkki [9].



Kuva 5.10. Harjateräspultti ja seinäkenkä esimerkki [9].

Pystysiteenä voidaan käyttää myös lohenpyrstömäiseen elementin aukkoon alapuolisesta elementistä tulevaa harjaterästä. Lohenpyrstön nimi tulee elementissä olevan aukon muodosta. Kolouksen yläosa on leveämpi kuin alaosa, minkä ansiosta juotosvalu kiilautuu varaukseen ja estää juotosvalun irtoamisen liitoksesta. Elementin reunateräs menee kolouksesta läpi vaakasuunnassa. Kolouksen vierellä on harjateräksiä, jotka jatkuvat elementin alareunasta aina yläreunaan asti. Kuvassa 5.11 on havainnollistava esimerkki lohenpyrstömäisestä ratkaisusta.



Kuva 5.11. Lohenpyrstömäinen pystyside [9].

6. SIDEJÄRJESTELMÄN LASKENNALLINEN MITOITUS MONIKERROKSISSA BETONIRUNKOISISSA RAKENNUKSESSA

6.1 Mitoitus

Sidejärjestelmän mitoitukseen on otettu ohjeistus standardin SFS-EN 1991-1-7 kansallisesta liitteestä [3]. Periaatteena on, että sidejärjestelmää varten lasketaan siteeseen onnettomuustilanteessa mahdollisesti vaikuttava voima, jonka siteeksi valitun ratkaisun tulee kestää.

Kuormien laskennassa käytetään onnettomuusrajatilan kuormakertoimia. Pysyväle kuormalle g_k kuormakerroin on 1 ja muuttuvalle kuormalle q_k yhdistelykerroin ψ valitaan tilanteen mukaan. Pääasiallisen muuttuvan kuorman q_k ollessa lumi, jää- tai tuulikuorma käytetään yhdistelykerrointa ψ_1 , joka on asuinrakennuksissa 0,5. Muulloin pääasiallisen muuttuvan kuorman q_k kerroin on ψ_2 , joka on asuinrakennuksissa 0,3. Pääasiallisen muuttuvan kuorman lisäksi tulevilla muuttuvissa kuormissa käytetään myös yhdistelykerrointa ψ_2 . Laataston pysyvän kuorman ominaisarvoon g_k sisältyy holvin päälle tulevien pysyvien kuormien lisäksi holvin oma paino. [12, s. 38–41]

Mitoitusohjeet on tehty kantavat seinät-ontelolaatta-runkoista rakennusta varten. Sidevoimat ovat samat kaikissa kerroksissa, jos pysyvät ja muuttuvat kuormat tai mittasuhteet eivät muutu. Käytettävät kaavat eroavat seuraamusluokissa CC2 ja CC3.

6.2 Vaakasiteiden mitoitus

Seuraamusluokassa CC2 pysyvän kuorman ominaisarvo g_k määrää kaavan, jolla sidevoima T_i lasketaan. Sidevoiman kertymäleveys s_i on rengassiteillä rengassiteen ja lähimmän sisäpuolisen siteen etäisyyden puolikas, johon lisätään etäisyys rakenteen reunaan. Sisäpuolisilla siteillä sidevoiman kertymäleveys s_i on siteen etäisyys seuraaviin siteisiin molempiin suuntiin jaettuna kahdella. [1, s. 96] Seuraamusluokan CC2 vaakasiteiden mitoituksen kaavoja tarkastellaan luvussa 6.2.1. Seuraamusluokassa CC2a vaakaside on ainoa vaadittu side onnettomuustilannemitoitusta varten [1, s. 37].

Seuraamusluokan CC3 rakennuksissa käytetään vain kaavaa (4), koska vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo g_k ylittää yleensä arvon $3,0 \text{ kN/m}^2$. Vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvon ollessa alle $3,0 \text{ kN/m}^2$ sidevoimat voidaan määrittää

hankekohtaisesti. [3, s. 40-41] Seuraamusluokan CC3 vaakasiteiden mitoituksen kaavoja tarkastellaan luvussa 6.2.1.

6.2.1 Rengas- ja sisäpuoliset siteet seuraamusluokissa CC2a ja CC2b

Laataston pysyvän kuorman ominaisarvon g_k ollessa $\geq 3,0 \text{ kN/m}^2$ lasketaan sidevoiman T_i arvo kaavan 1 mukaan. Rengassiteille ja tukilinjaille keskitetyille sisäpuolisille siteille sidevoiman T_i vähimmäisarvo on 70 kN. [3, s. 40]

$$T_i = s_i \cdot 20 \text{ kN/m}, \quad (1)$$

jossa T_i on sidevoima ja s_i sidevoiman kertymäleveys.

Laataston pysyvän kuorman ominaisarvon g_k ollessa $\leq 2,0 \text{ kN/m}^2$ lasketaan sidevoiman T_i arvo kaavan 2 mukaan. Rengassiteille ja tukilinjaille keskitetyille sisäpuolisille siteille sidevoiman T_i vähimmäisarvo on 10 kN. [3, s. 40]

$$T_i = s_i \cdot 3 \text{ kN/m}, \quad (2)$$

jossa T_i on sidevoima ja s_i sidevoiman kertymäleveys.

Laataston pysyvän kuorman ominaisarvon g_k ollessa $2,0 \text{ kN/m}^2 \leq g_k \leq 3,0 \text{ kN/m}^2$ rengassiteiden sidevoiman arvo T_i interpoloidaan. [3, s. 40]

$$T_i = s_i \cdot (3 + ((g_k - 2,0) \cdot 17)), \quad (3)$$

jossa T_i on sidevoima, s_i sidevoiman kertymäleveys ja g_k vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo.

Rengassiteiden sidevoiman kertymäleveys lasketaan

$$s_i = L_u + (L_e/2), \quad (4)$$

jossa s_i on sidevoiman kertymäleveys, L_u rengassiteen etäisyys rakenteen reunaan ja L_e etäisyys lähimpään sisäpuoliseen siteeseen.

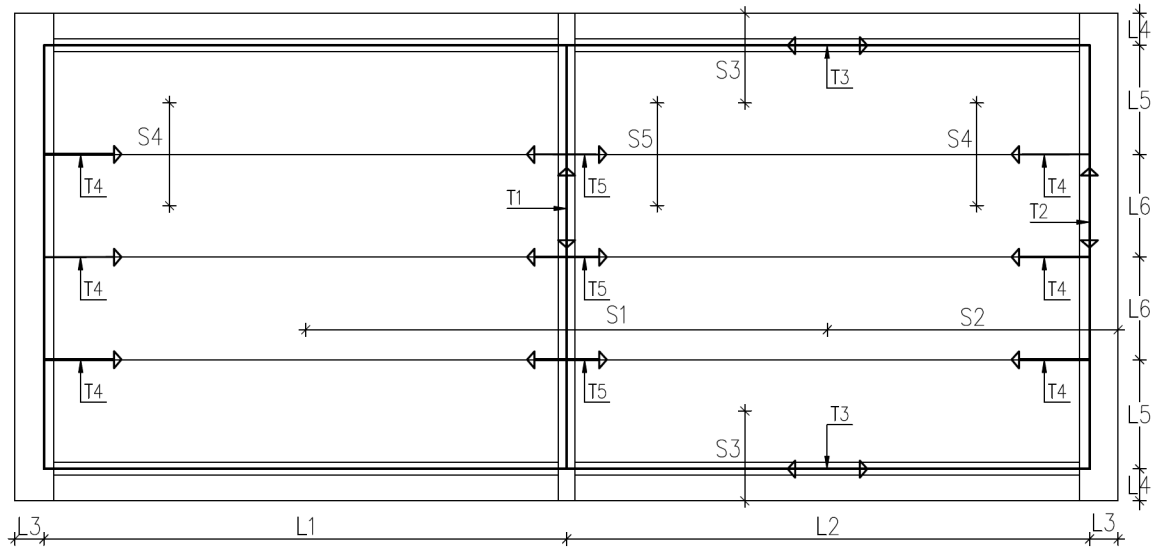
Sisäpuolisten siteiden sidevoiman kertymäleveys lasketaan

$$s_i = (L_{e1} + L_{e2})/2, \quad (5)$$

jossa s_i on sidevoiman kertymäleveys, L_{e1} sisäisen siteen toisen puolen etäisyys lähimpään siteeseen ja L_{e2} sisäisen siteen toisen puolen etäisyys lähimpään siteeseen.

Havainnollistava esimerkki siteiden sidevoiman t_i kertymäleveyden s_i määrittämiseen on kuvassa 6.1. Kuvassa T_1 on ontelolaattojen päätysaumassa kantavan väliseinän päällä menevän saumateräksen sidevoima, T_2 on rengasteräs ontelolaattojen ulkoseinien

päässä, T_3 on rengasteräs ontelolaattakentän ei-kantavan seinän puolella, T_4 on saumateräs kantavasta ulkoseinästä ontelolaatan saumaan ja T_5 on saumateräs, joka menee ontelolaatan saumasta seuraavan ontelolaatan saumaan kantavan väliseinän ylittävässä tilanteessa. Sidevoiman kertymäleveys määritetään siteille T_2 ja T_3 kaavan 4 ja siteille T_1 , T_4 ja T_5 kaavan 5 mukaan.



Kuva 6.1. Sidevoiman kertymäleveydet s_i ja sidevoimien t_i suunnat.

6.2.2 Rengas- ja sisäpuoliset siteet seuraamusluokissa CC3a ja CC3b

Laataston pysyvän kuorman ominaisarvon g_k ollessa $\geq 3,0 \text{ kN/m}^2$ valitaan sidevoimaksi suurempi seuraavista kaavan 6 arvoista.

$$T_i = \begin{cases} \frac{F_t \cdot z_i \cdot s_i (g_k + q_k \cdot \psi_i)}{37,5 \text{ kN/m}} \\ F_t \cdot s_i \end{cases}, \quad (6)$$

jossa

F_t on pienempi arvoista 48 kN/m ja $16 + 2,1 \cdot n_s$.

n_s on kerrosten lukumäärä.

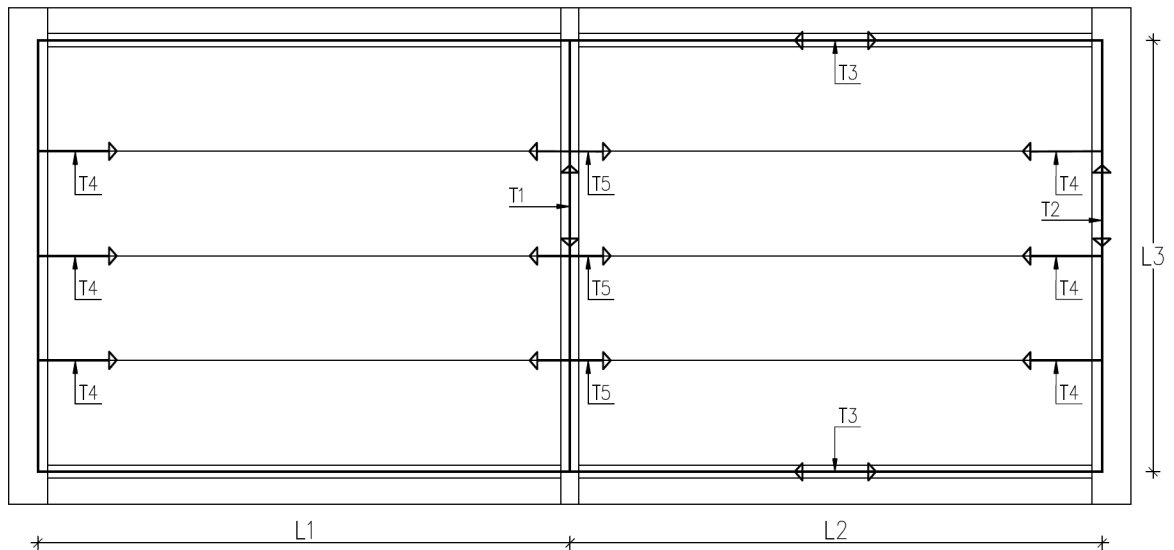
z_i on suurin seinien keskilinjoiden välinen etäisyys siteen ollessa laataston suuntainen, tai puolet poistettavaksi ajatellun seinälohkon pituudesta siteen ollessa kantavan seinän suuntainen. Seinälohkon pituus enintään $2,25 \cdot h$, missä h on kerroskorkeus metreinä. Kuvassa 6.2 on esitetty mitan z_i määräävät mitat. Kuvan 6.2 mukaisessa tapauksessa sidevoima T_1 ja T_2 : $z_i = (L_3 \text{ tai } 2,25 \cdot h) / 2$. T_3 , T_4 ja T_5 : $z_i = \max(L_1, L_2)$.

s_i on sidevoiman kertymäleveys.

g_k on vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo.

q_k on vaakarakenteen muuttuvan kuorman ominaisarvo. Onnettomuusrajatilan yhdistelysääntöjä käytetään tilanteissa, joissa rakenteella vaikuttaa sidevoiman kertymäleveydellä s_i useampia muuttuvia kuormia.

ψ_i on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin onnettomuusrajatilassa. ψ_1 tai ψ_2 , joka riippuu kuormasta. Yleensä $\psi_2 = 0,3$, koska välipohjan pääasiallinen kuormitus on muu kuin lumi, jää- tai tuulikuorma.



Kuva 6.2. Mitan z_i määrittävät mitat.

6.3 Seinien yläpään sidonnan mitoitus välipohjaan vaakasuorasti

Seuraamusluokassa CC2 pysyvän kuorman ominaisarvo g_k määrää kaavan, jolla sidevoima F_{tie} lasketaan. Seuraamusluokassa CC2 sidevoiman kertymäleveys lasketaan vaakasiteiden sidevoiman kertymäleveyden tapaan. Seuraamusluokan CC3 rakennuksissa käytetään vain kaavaa 11, koska vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo g_k ylittää yleensä arvon $3,0 \text{ kN/m}^2$ [3, s. 42-43]. Kaavoja käsitellään tarkemmin luvuissa 6.3.1 ja 6.3.2.

Kantavien ja jäykistävien väliseinäelementtien vaakasidontaa välipohjaan ei mitoiteta. Väliseinäelementit tulee kuitenkin kiinnittää yläreunasta muuhun kantavaan rakenteeseen väliseinäelementin päällä olevan saumateräksen sidevoimalle T_i [6, s. 31].

Seinien yläpään sidonnan tulee kestää sidevoima F_{tie} . Leikkauskapasiteetti harjateräkselle lasketaan kaavalla:

$$V_{Rd} = \frac{1,2 \cdot \emptyset^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot f_{ck}}}{\gamma_{c,acc}}, \quad (7)$$

jossa V_{Rd} on leikkauskapasiteetti, \emptyset tapin halkaisija, f_{ck} elementin betonin ominaislujuus, harjateräksen ominaislujuus ja $\gamma_{c,acc}$ betonin osavarmuuskertoimen onnettomuuskuormayhdistelmille.

6.3.1 Seinien ja pilareiden sidonta välipohjaan seuraamusluokissa CC2a ja CC2b

Laataston pysyvän kuorman ominaisarvon g_k ollessa $\geq 3,0 \text{ kN/m}^2$ lasketaan sidevoiman F_{tie} arvo kaavan 7 mukaan. Sidevoiman F_{tie} arvo on enintään 150 kN. [3, s. 42]

$$F_{tie} = s_i \cdot 20 \text{ kN/m}, \quad (8)$$

jossa F_{tie} on sidevoima ja s_i sidevoiman kertymäleveys.

Laataston pysyvän kuorman ominaisarvon g_k ollessa $\leq 2,0 \text{ kN/m}^2$ lasketaan sidevoiman F_{tie} arvo kaavan 8 mukaan. Sidevoiman F_{tie} arvon on enintään 150 kN. [3, s. 42]

$$F_{tie} = s_i \cdot 3 \text{ kN/m}, \quad (9)$$

jossa F_{tie} on sidevoima ja s_i sidevoiman kertymäleveys.

Laataston pysyvän kuorman ominaisarvon g_k ollessa $2,0 \text{ kN/m}^2 \leq g_k \leq 3,0 \text{ kN/m}^2$ sidevoiman arvo F_{tie} interpoloidaan. [3, s. 42]

$$F_{tie} = s_i \cdot \left(3 + ((g_k - 2,0) \cdot 17) \right), \quad (10)$$

jossa F_{tie} on sidevoima ja s_i sidevoiman kertymäleveys.

6.3.2 Seinien ja pilareiden sidonta välipohjaan seuraamusluokissa CC3a ja CC3b

Laataston pysyvän kuorman ominaisarvon g_k ollessa $\geq 3,0 \text{ kN/m}^2$ sidevoiman F_{tie} arvo valitaan kaavan 10 mukaan.

$$F_{tie} = \begin{cases} F_t \cdot (h/2,5) \cdot s_i \\ \max(2 \cdot F_t \cdot s_i) \end{cases}, \quad (11)$$

jossa F_{tie} on sidevoima, F_t pienempi arvoista 48 kN/m ja $16 + 2,1 \cdot n_s$, h seinän vapaa korkeus ja s_i sidevoiman kertymäleveys.

6.4 Pystysiteiden mitoitus (CC2b, CC3a ja CC3b)

Pystysiteiden voiman arvo lasketaan seuraamusluokissa CC2b ja CC3 samalla tavalla. Seinien pystysiteet mitoitetaan kestävänsä suurin yhden kerroksen pystysuuntaisten pysyvän ja muuttuvien kuormien yhteisarvo onnettomuusrajatilassa. [3, s. 43] Mitoitus kaavan 11 mukaan.

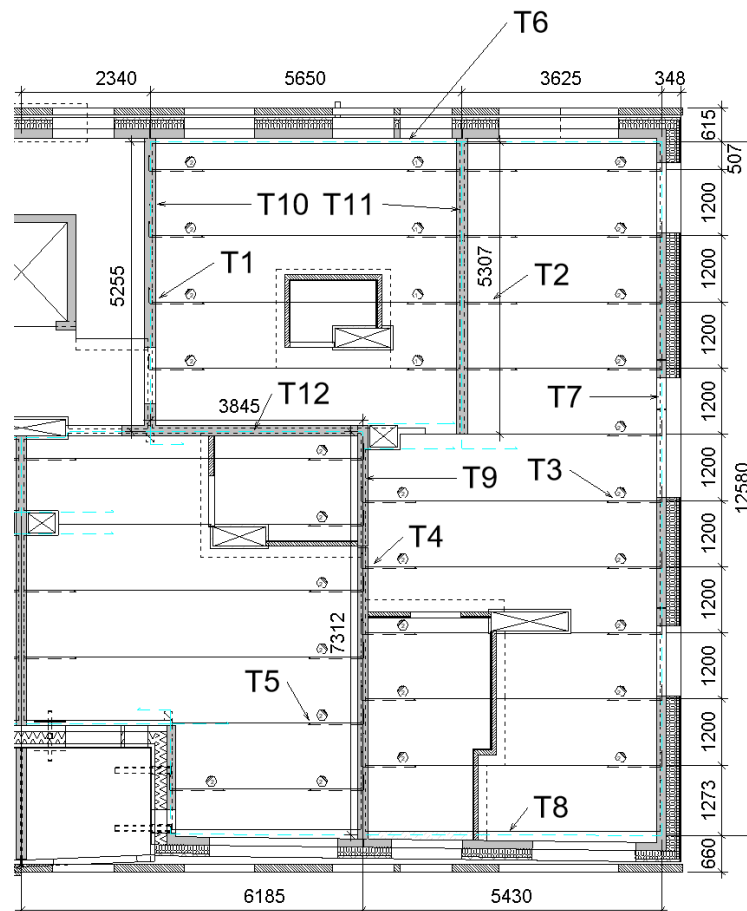
$$F_{tot} = d \cdot (b \cdot (g_k + \psi_i \cdot q_k) + G_{seinä}), \quad (12)$$

jossa F_{tot} on lasketulle seinän pituudelle tuleva kokonaiskuorma, d lasketun seinän pituus, b kuormitusleveys, g_k vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo, q_k vaakarakenteen muuttuvan kuorman ominaisarvo, ψ_i on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin onnettomuusrajatilassa ja $G_{seinä}$ lasketun seinän vapaan osan paino.

7. LASKENTAESIMERKIT ELEMENTTIRAKENNUKSESTA SEURAAMUSLUOKISSA CC2B JA CC3A

7.1 Kohde

Laskentaesimerkin kohde on kolmannen kerroksen pääty Insinööritoimisto Jonecon Oy:n Helsinkiin suunnittelema 5 kerroksisesta asuinrakennuksesta. Kohteen kaikki seinät ovat kantavia tai jäykistäviä. Kohde kuuluu onnettomuusmitoitusluokkaan CC2b. Seuraamusluokan CC3a laskentaesimerkkiin käytetään samaa kohdetta, jotta saadaan havainnollistettua CC2b- ja CC3a-luokkien sidejärjestelmän mitoituksen eroja. Esimerkkilaskelmat ovat toteutettu kuvassa 7.1 esitetyn kohteesta otetun tasokuvan mukaan, johon on merkitty mitat sekä rengas- ja sisäpuolisten siteiden sijainnit. Aiemmin sidevoimaa kuvaavaa kirjainta T on käytetty esimerkissä nimeämään rengas- ja sisäpuolisia siteitä. Väliseinien sidonta väli- ja yläpohjaan tulee mitoittaa väliseinän päällä kulkevan saumateräksen sidevoimalle T_i , joten väliseinien sidontaa ei ole erikseen laskettu.



Kuva 7.1. Tasokuva esimerkkikohteen kolmannen kerroksen päädyistä [9].

7.2 Seuraamusluokan CC2b laskentaesimerkki

Rengas- ja sisäpuolisten siteiden vaakasidevoimat ja tarvittavat teräkset:

Teräksiksi on valittu alle 90 % käyttöasteiset teräkset. Vaadittu teräsmäärä on laskettu vain CC2b luokan rengas- ja sisäpuolisille siteille, mutta teräkset on valittu kaikille laske-
tuille sideraudoille. Esimerkin teräkset on ankkuroitu täydelle vetovoimalle.

Kaavan 1 mukaan:

$$T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T_5 = s_{1-5} \cdot 20 \text{ kN/m} = 1,2 \text{ m} \cdot 20 \text{ kN/m} = 24 \text{ kN.}$$

$$\text{Teräs B500B: } (24 \cdot 1000 \text{ N}) / 500 \text{ N/mm}^2 = 48 \text{ mm}^2 \text{ (T10 k1200)}$$

Alimman ja ylimmän sisäisen siteen T_3 sidevoiman kertymäleveys s_3 eroaa muista linjan siteistä. Alin laskettu esimerkiksi.

$$\text{Alin } T_3 = ((1,2 \text{ m} + 1,273 \text{ m}) / 2) \cdot 20 \text{ kN/m} = 25 \text{ kN.}$$

$$\text{Teräs B500B: } (25 \cdot 1000 \text{ N}) / 500 \text{ N/mm}^2 = 50 \text{ mm}^2 \text{ (T10 k1200)}$$

$$T_6 = s_6 \cdot 20 \text{ kN/m} = ((0,615 \text{ m} + 0,507 \text{ m}) / 2) \cdot 20 \text{ kN/m} = 11,2 \text{ kN.}$$

T_6 toimii rengassiteenä, joten otetaan huomioon minimivaatimus 70 kN.

$$\text{Teräs B500B: } (70 \cdot 1000 \text{ N}) / 500 \text{ N/mm}^2 = 140 \text{ mm}^2 \text{ (2 T10)}$$

$$T_7 = s_7 \cdot 20 \text{ kN/m} = (0,348 \text{ m} + (5,430 \text{ m} / 2)) \cdot 20 \text{ kN/m} = 63,1 \text{ kN.}$$

Toimii rengassiteenä, joten $T_7 \rightarrow 70 \text{ kN}$.

$$\text{Teräs B500B: } (70 \cdot 1000 \text{ N}) / 500 \text{ N/mm}^2 = 140 \text{ mm}^2 \text{ (2 T10)}$$

$$T_8 = s_8 \cdot 20 \text{ kN/m} = (0,660 \text{ m} + (1,273 \text{ m} / 2)) \cdot 20 \text{ kN/m} = 25,93 \text{ kN.}$$

Toimii rengassiteenä, joten $T_8 \rightarrow 70 \text{ kN}$.

$$\text{Teräs B500B: } (70 \cdot 1000 \text{ N}) / 500 \text{ N/mm}^2 = 140 \text{ mm}^2 \text{ (2 T10)}$$

$$T_9 = ((6,185 \text{ m} + 5,430 \text{ m}) / 2) \cdot 20 \text{ kN/m} = 116,2 \text{ kN.}$$

$$\text{Teräs B500B: } (116,2 \cdot 1000 \text{ N}) / 500 \text{ N/mm}^2 = 232,4 \text{ mm}^2 \text{ (3 T12)}$$

$$T_{10} = ((2,340 \text{ m} + 5,650 \text{ m}) / 2) \cdot 20 \text{ kN/m} = 79,9 \text{ kN.}$$

$$\text{Teräs B500B: } (79,9 \cdot 1000 \text{ N}) / 500 \text{ N/mm}^2 = 159,8 \text{ mm}^2 \text{ (2 T12)}$$

$$T_{11} = ((5,650 \text{ m} + 3,625 \text{ m}) / 2) \cdot 20 \text{ kN/m} = 92,8 \text{ kN.}$$

$$\text{Teräs B500B: } (92,8 \cdot 1000 \text{ N}) / 500 \text{ N/mm}^2 = 185,6 \text{ mm}^2 \text{ (2 T12)}$$

$$T_{12} = ((1,00 \text{ m} + 1,00 \text{ m}) / 2) \cdot 20 \text{ kN/m} = 16,55 \text{ kN.}$$

Toimii rengassiteenä, joten $T_{12} \rightarrow 70 \text{ kN}$. Laskelmaan otettu varman puolella oleva arvo 1,00 m molempiin suuntiin.

$$\text{Teräs B500B: } (70 \cdot 1000 \text{ N}) / 500 \text{ N/mm}^2 = 140 \text{ mm}^2 \text{ (2 T10)}$$

Seinien sidontavoimat välipohjaan (pystytapin mitoitus):

Halkaisijaltaan 16 mm harjaterästangon B500B leikkauskapasiteetti lasketaan kaavan 7 mukaan:

$$V_{Rd} = (1,2 \cdot (16 \text{ mm})^2 \cdot \sqrt{(30 \text{ N/mm}^2 \cdot 500 \text{ N/mm}^2)}) / 1,2 = 31,3 \text{ kN}.$$

Kaavan 8 mukaan:

Rengassiteen T₇ linja:

$$F_{tie} = s_7 \cdot 20 \text{ kN/m} = (0,615 \text{ m} + 12,580 \text{ m} + 0,660 \text{ m}) \cdot 20 \text{ kN/m} = 277,1 \text{ kN}.$$

Seinien sidontavoiman yläraja 150 kN, joten $F_{tie} = 150 \text{ kN}$,

joten vaaditaan vähintään viisi 16 mm harjaterästappia rengassiteen T₇ linjalle.

Rengassiteen T₆ linjan vasen puoli:

$$F_{tie} = s_6 \cdot 20 \text{ kN/m} = 5,65 \text{ m} \cdot 20 \text{ kN/m} = 113 \text{ kN},$$

joten vaaditaan vähintään neljä 16 mm harjaterästappia rengassiteen T₆ vasemmalle puoliskolle.

Rengassiteen T₆ linjan oikea puoli:

$$F_{tie} = s_6 \cdot 20 \text{ kN/m} = (0,348 \text{ m} + 3,625 \text{ m}) \cdot 20 \text{ kN/m} = 79,5 \text{ kN},$$

joten vaaditaan vähintään kolme 16 mm harjaterästappia rengassiteen T₆ oikealle puoliskolle.

Rengassiteen T₈ linja:

$$F_{tie} = s_8 \cdot 20 \text{ kN/m} = (0,348 \text{ m} + 5,430 \text{ m}) \cdot 20 \text{ kN/m} = 115,6 \text{ kN},$$

joten vaaditaan vähintään neljä 16 mm harjaterästappia rengassiteen T₈ linjalle.

Seinien pystysidonta:

Esimerkin teräkset on ankkuroitu täydelle vetovoimalle.

Laskelmissa käytetyt muuttujat:

H on seinän vapaa korkeus 2,6 m.

ψ_1 on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin onnettomuusmitoitustilassa. Muu kuin jää-, lumi- tai tuulikuorma, joten $\psi_2 = 0,3$.

Kaavan 12 mukaan:

Rengassiteen T₇ linja:

$$F_{\text{tot}} = d \cdot (b \cdot (g_k + \psi_2 + q_k) + G_{\text{seinä}}) = (0,615 \text{ m} + 12,580 \text{ m} + 0,660 \text{ m}) \cdot ((5,43 \text{ m} / 2) \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2) + (0,18 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 2,6 \text{ m})) = 414,2 \text{ kN}.$$

Seinän pystysiteet tulee mitoittaa yhteensä voimalle 414,2 kN.

Linjalla on kaksi pystysaumaa, joissa on 2 T12 pystyteräket. Niiden kapasiteetti riittää ottamaan voimasta enintään 226 kN. Loput 188,2 kN tulee ottaa toisilla ratkaisuilla, esimerkiksi seinäkengillä. Esimerkiksi SUMO 20H seinäkengän vetokestävyys N_{Rd} on 96 kN [10], joten linjalle tulisi asentaa 3 SUMO 20H seinäkenkää HPM 20 ankkurointipultilla.

Rengassiteen T₆ linjan vasen puoli:

$$F_{\text{tot}} = d \cdot (b \cdot (g_k + \psi_2 + q_k) + G_{\text{seinä}}) = 5,65 \text{ m} \cdot ((1,00 + 0,615 \text{ m}) \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2) + (0,15 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 2,6 \text{ m})) = 116,3 \text{ kN}.$$

Seinän pystysiteet tulee mitoittaa yhteensä voimalle 116,3 kN. (2 T12 molempiin pystysaumoihin)

Rengassiteen T₆ linjan oikea puoli:

$$F_{\text{tot}} = d \cdot (b \cdot (g_k + \psi_2 + q_k) + G_{\text{seinä}}) = 3,625 \text{ m} \cdot ((1,00 \text{ m} + 0,615 \text{ m}) \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2) + (0,15 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 2,6 \text{ m})) = 74,6 \text{ kN}.$$

Seinän pystysiteet tulee mitoittaa yhteensä voimalle 74,6 kN. (2 T12 molempiin pystysaumoihin)

Rengassiteen T₈ linja:

$$F_{\text{tot}} = d \cdot (b \cdot (g_k + \psi_2 + q_k) + G_{\text{seinä}}) = 5,430 \text{ m} \cdot ((1,00 \text{ m} + 0,660 \text{ m}) \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2) + (0,15 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 2,6 \text{ m})) = 113,4 \text{ kN}.$$

Seinän pystysiteet tulee mitoittaa yhteensä voimalle 113,4 kN. (2 T12 molempiin pystysaumoihin)

Sisäpuolisen siteen T₉ linja:

$$F_{\text{tot}} = d \cdot (b \cdot (g_k + \psi_2 + q_k) + G_{\text{seinä}}) = 7,312 \text{ m} \cdot (((6,185 \text{ m} + 5,430 \text{ m}) / 2) \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2) + (0,2 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 2,6 \text{ m})) = 379,6 \text{ kN}.$$

Seinän pystysiteet tulee mitoittaa yhteensä voimalle 379,6 kN. (2 T16 kolmeen pystysaumaan)

Sisäpuolisen siteen T₁₂ linja:

$$F_{\text{tot}} = d \cdot (b \cdot (g_k + \psi_2 + q_k) + G_{\text{seinä}}) = 3,845 \text{ m} \cdot ((1,00 + 1,00 \text{ m}) \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2) + (0,2 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 2,6 \text{ m})) = 101,6 \text{ kN}.$$

Seinän pystysiteet tulee mitoittaa yhteensä voimalle 101,6 kN. (2 T12 molempiin pystysaumoihin)

Sisäpuolisen siteen T₁₀ linja:

$$F_{\text{tot}} = d \cdot (b \cdot (g_k + \psi_2 + q_k) + G_{\text{seinä}}) = 5,255 \text{ m} \cdot (((5,65 \text{ m} / 2) \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2) + (2,34 \text{ m} / 2) \cdot (7,5 \text{ kN/m}^2 + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2)) + (0,2 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 2,6 \text{ m})) = 156,6 \text{ kN}.$$

Seinän pystysiteet tulee mitoittaa yhteensä voimalle 156,6 kN. (2 T12 molempiin pystysaumoihin)

Sisäpuolisen siteen T₁₁ linja:

$$F_{\text{tot}} = d \cdot (b \cdot (g_k + \psi_2 + q_k) + G_{\text{seinä}}) = 5,307 \text{ m} \cdot (((5,650 \text{ m} + 3,625 \text{ m}) / 2) \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2) + (0,2 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 2,6 \text{ m})) = 233,9 \text{ kN}.$$

Seinän pystysiteet tulee mitoittaa yhteensä voimalle 233,9 kN. (2 T12 pystysaumaan ja SUMO 20H vapaaseen pätyyn)

7.3 Seuraamusluokan CC3a laskentaesimerkki

Rengas- ja sisäpuolisten siteiden vaakasidevoimat ja tarvittavat teräkset:

Selvitetään kaavoissa käytettävä voima F_t , joka on 48 kN/m tai $(16 + 2,1 \cdot n_s)$ kN/m, sen mukaan kumpi on pienempi. Kaavassa käytetään kertoimena kerrosmäärää n_s .

$$F_t = 48 \text{ kN/m tai } 16 + (2,1 \cdot 5) = 48 \text{ kN/m tai } 26,5 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Käytetään } F_t = 26,5 \text{ kN/m}$$

Siteen ollessa kantavan seinän suunnassa korvaavan köysirakenteen jänneväli z_i on poistettavaksi ajatellun seinälohkon nimellispituuden puolikas. Korvaavan köysirakenteen jänneväli z_i on korkeintaan $2,25 \cdot$ kerrokorkeus h . Kerrokorkeus h on kohteessa

3 m. Korvaavan köysirakenteen jänneväli z_i on siis enintään $h \cdot 2,25 \text{ m} = 3 \text{ m} \cdot 2,25 \text{ m} = 6,75 \text{ m}$.

Sidevoimat lasketaan kaavan 6 mukaan. Sidevoiman vähimmäisarvo $T_i = F_t \cdot s_i$. Esimerkin teräkset on ankkuroitu täydelle vetovoimalle.

T_{1-6} valitaan mitat z_{1-6} pisimmän seinävälin mukaan.

$$T_1 = (F_t \cdot z_1 \cdot s_1 \cdot (g_k + q_k \cdot \psi_2)) / 37,5 \text{ kN/m} = (26,5 \text{ kN/m} \cdot 5,650 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m} \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2)) / 37,5 \text{ kN/m} = 32,1 \text{ kN. (T10 k1200)}$$

$$T_2 = (F_t \cdot z_2 \cdot s_2 \cdot (g_k + q_k \cdot \psi_2)) / 37,5 \text{ kN/m} = (26,5 \text{ kN/m} \cdot 5,650 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m} \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2)) / 37,5 \text{ kN/m} = 32,1 \text{ kN. (T10 k1200)}$$

$$T_3 = (F_t \cdot z_3 \cdot s_3 \cdot (g_k + q_k \cdot \psi_2)) / 37,5 \text{ kN/m} = (26,5 \text{ kN/m} \cdot 5,650 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m} \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2)) / 37,5 \text{ kN/m} = 32,1 \text{ kN (T10 k1200)}$$

$$T_4 = (F_t \cdot z_4 \cdot s_4 \cdot (g_k + q_k \cdot \psi_2)) / 37,5 \text{ kN/m} = (26,5 \text{ kN/m} \cdot 5,430 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m} \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2)) / 37,5 \text{ kN/m} = 30,85 \text{ kN.}$$

$$\text{Käytetään kaavaa } T_4 = F_t \cdot s_4 = 26,5 \text{ kN/m} \cdot 1,2 \text{ m} = 31,8 \text{ kN. (T10 k1200)}$$

$$T_5 = (F_t \cdot z_5 \cdot s_5 \cdot (g_k + q_k \cdot \psi_2)) / 37,5 \text{ kN/m} = (26,5 \text{ kN/m} \cdot (6,185 \text{ m}) \cdot 1,2 \text{ m} \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2)) / 37,5 \text{ kN/m} = 35,2 \text{ kN (1T12 k1200)}$$

$$T_6 = (F_t \cdot z_6 \cdot s_6 \cdot (g_k + q_k \cdot \psi_2)) / 37,5 \text{ kN/m} = (26,5 \text{ kN/m} \cdot 5,650 \text{ m} \cdot (1,00 \text{ m} + 0,615 \text{ m}) \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2)) / 37,5 \text{ kN/m} = 43,2 \text{ kN/m.}$$

Valitaan $T_6 \rightarrow 70 \text{ kN}$ rengassiteen sidevoiman vähimmäisarvon perusteella.

(2 T10)

$$T_7 = (F_t \cdot 2,25 \cdot h \cdot s_7 \cdot (g_k + q_k \cdot \psi_2)) / 37,5 \text{ kN/m} = (26,5 \text{ kN/m} \cdot (6,75 \text{ m} / 2) \cdot (0,348 \text{ m} + (5,43 \text{ m} / 2)) \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2)) / 37,5 \text{ kN/m} = 49 \text{ kN.}$$

$$\text{Käytetään kaavaa } T_7 = F_t \cdot s_7 = 26,5 \text{ kN/m} \cdot (0,348 \text{ m} + 5,43 \text{ m}) / 2 = 81,2 \text{ kN.}$$

(2 T12)

$$T_8 = (F_t \cdot z_8 \cdot s_8 \cdot (g_k + q_k \cdot \psi_2)) / 37,5 \text{ kN/m} = (26,5 \text{ kN/m} \cdot 5,43 \text{ m} \cdot (1,00 \text{ m} + 0,660 \text{ m}) \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2)) / 37,5 \text{ kN/m} = 42,7 \text{ kN.}$$

Valitaan $T_8 \rightarrow 70 \text{ kN}$ rengassiteen sidevoiman vähimmäisarvon perusteella.

(2 T10)

$$T_9 = (F_t \cdot 2,25 \cdot h \cdot s_9 \cdot (g_k + q_k \cdot \psi_2)) / 37,5 \text{ kN/m} = (26,5 \text{ kN/m} \cdot (6,75 \text{ m} / 2) \cdot (6,185 \text{ m} + 5,430 \text{ m}) / 2) \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2) / 37,5 \text{ kN/m} = 92,8 \text{ kN}.$$

Käytetään kaavaa $T_9 = F_t \cdot s_9 = 26,5 \text{ kN/m} \cdot (6,185 \text{ m} + 5,430 \text{ m}) / 2 = 153,9 \text{ kN}$.
(3 T12)

$$T_{10} = (F_t \cdot z_{10} \cdot s_{10} \cdot (g_k + q_k \cdot \psi_2)) / 37,5 \text{ kN/m} = (26,5 \text{ kN/m} \cdot (5,255 \text{ m} / 2) \cdot (((5,65 \text{ m} / 2) \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2) + (2,340 \text{ m} / 2) \cdot (7,5 \text{ kN/m}^2 + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2))) / 37,5 \text{ kN/m} = 52,8 \text{ kN}.$$

Käytetään kaavaa $T_{10} = F_t \cdot s_{10} = 26,5 \text{ kN/m} \cdot (2,340 \text{ m} + 5,650 \text{ m}) / 2 = 105,9 \text{ kN}$.
(3 T10)

$$T_{11} = (F_t \cdot z_{11} \cdot s_{11} \cdot (g_k + q_k \cdot \psi_2)) / 37,5 \text{ kN/m} = (26,5 \text{ kN/m} \cdot (5,307 \text{ m} / 2) \cdot (5,650 \text{ m} + 3,625 \text{ m}) / 2) \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2) / 37,5 \text{ kN/m} = 58,3 \text{ kN}.$$

Käytetään kaavaa $T_{11} = F_t \cdot s_{11} = 26,5 \text{ kN/m} \cdot (5,650 \text{ m} + 3,625 \text{ m}) / 2 = 122,9 \text{ kN}$. (3 T12)

$$T_{12} = (F_t \cdot z_{12} \cdot s_{12} \cdot (g_k + q_k \cdot \psi_2)) / 37,5 \text{ kN/m} = (26,5 \text{ kN/m} \cdot (3,845 \text{ m}) \cdot (1,00 \text{ m} + 1,00 \text{ m}) \cdot ((5,1 \text{ kN/m}^2 + 1,0 \text{ kN/m}^2) + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2)) / 37,5 \text{ kN/m} = 36,5 \text{ kN}.$$

Valitaan $T_{12} \rightarrow 70 \text{ kN}$ rengassiteen sidevoiman vähimmäisarvon perusteella.
(2 T10)

Seinien sidontavoimat välipohjaan (pystytapin mitoitus):

Halkaisijaltaan 20 mm harjaterästangon B500B leikkauskapasiteetti lasketaan kaavan 7 mukaan:

$$V_{Rd} = (1,2 \cdot (20 \text{ mm})^2 \cdot \sqrt{(30 \text{ N/mm}^2 \cdot 500 \text{ N/mm}^2)}) / 1,2 = 48,9 \text{ kN}.$$

Kaavan 11 mukaan:

Rengassiteen T_7 linja:

$$F_{tie} = F_t \cdot h \cdot s_7 / 2,5 = 26,5 \text{ kN/m} \cdot 3 \text{ m} \cdot ((0,615 \text{ m} + 12,580 \text{ m} + 0,660 \text{ m}) / 2,5) = 440,6 \text{ kN} < F_{tie} = 2 \cdot 26,5 \cdot (0,615 \text{ m} + 12,580 \text{ m} + 0,660 \text{ m}) = 734,3 \text{ kN}.$$

$\rightarrow F_{tie} 440,6 \text{ kN}$,

joten vaaditaan vähintään yhdeksän 20 mm harjaterästappia rengassiteen T_7 linjalle.

Rengassiteen T₆ linjan vasen puoli:

$$F_{tie} = F_t \cdot h \cdot s_6 / 2,5 = 26,5 \text{ kN/m} \cdot 3 \text{ m} \cdot (5,565 \text{ m} / 2,5) = 177 \text{ kN} < F_{tie} = 2 \cdot 26,5 \cdot 5,565 = 295 \text{ kN.} \rightarrow F_{tie} 177 \text{ kN,}$$

joten vaaditaan vähintään neljä 20 mm harjaterästappia rengassiteen T₆ oikeanpuoleiselle osalle.

Rengassiteen T₆ linjan oikea puoli:

$$F_{tie} = F_t \cdot h \cdot s_6 / 2,5 = 26,5 \text{ kN/m} \cdot 3 \text{ m} \cdot (3,625 \text{ m} / 2,5) = 115,3 \text{ kN} < F_{tie} = 2 \cdot 26,5 \cdot 3,625 \text{ m} = 192,2 \text{ kN.} \rightarrow F_{tie} 115,3 \text{ kN,}$$

joten vaaditaan vähintään kolme 20 mm harjaterästappia rengassiteen T₆ oikeanpuoleiselle osalle.

Rengassiteen T₈ linja:

$$F_{tie} = F_t \cdot h \cdot s_8 / 2,5 = 26,5 \text{ kN/m} \cdot 3 \text{ m} \cdot (5,430 \text{ m} / 2,5) = 172,7 \text{ kN} < F_{tie} = 2 \cdot 26,5 \cdot 5,430 = 387,8 \text{ kN,} \rightarrow F_{tie} 172,7 \text{ kN,}$$

joten vaaditaan vähintään neljä 20 mm harjaterästappia rengassiteen T₈ linjalle.

Seinien pystysidonta:

Pystysiteiden sidevoimien laskenta ei eroa seuraamusluokan mukaan, joten seinien pystysidonta mitoitetaan seuraamusluokassa CC3a kuten seuraamusluokan CC2b esimerkissä.

8. YHTEENVETO

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena oli selkeyttää jatkuvan sortuman estämisessä käytettävän sidejärjestelmän käyttöä ja luoda selkeä suunnitteluohje sideraudoitusten mitoitukselta rakennesuunnittelijoille Insinööritoimisto Jonecon Oy:ssä. Ohje rajattiin koskemaan 3-15 kerroksisia betonirunkoisia asuinkerrostaloja, jotka ovat kantavat seinä-ontelolaatta-runkoisia.

Suomen rakentamismääräyskokoelma ei anna kaikilta osiltaan selkeää ohjeistusta sidejärjestelmän käytöstä ja eri lähteissä on mitoituskriteerien esittämisessä eroavaisuuksia. Tämän vuoksi määräyksiin ja ohjeisiin perustuvan selkeän suunnitteluohjeen tekemiselle sideraudoitusten mitoitukseen oli tarvetta.

Aluksi kandidaatintyössä selvitettiin mitä tarkoitetaan jatkuvalla sortumalla ja minkälaisia menetelmiä sen estämiseksi voidaan nykyisten määräysten ja ohjeiden mukaan käyttää. Näitä menetelmiä todettiin sidejärjestelmän lisäksi olevan vaihtoehtoisten kuormansiirto-reittien menetelmä ja avainasemassa olevien rakenneosien menetelmä. Tässä työssä keskityttiin kuitenkin vain sidejärjestelmän tutkimiseen.

Seuraavaksi käsiteltiin rakennusten seuraamusluokat onnettomuusrajatilassa ja miten ne vaikuttavat sidejärjestelmien mitoitukseen. Tämän jälkeen esiteltiin sidejärjestelmän sisältämät eri sidetyypit.

Sidejärjestelmään tutustumisen jälkeen esitettiin sidejärjestelmän laskennallinen mitoitus teoreettisesti. Viimeisenä tuotiin sidejärjestelmän mitoitus käytännönläheisemmäksi yksityiskohtaisten laskentaesimerkkien avulla.

LÄHTEET

- [1] Rakenteiden vaurionsietokyvyn varmistaminen onnettomuustilanteissa, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, RIL 201-4-2017, 2017
- [2] Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat, SFS-EN 1991-1-7, Helsinki: Suomen standardisoimisliitto, 2014. Saatavissa (viitattu 8.3.2019): <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/385623.html.stx>
- [3] SFS-EN 1991-1-7 NA, 2016, Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1991-1-7 Eurokoodi 1. Rakenteiden kuorma. Osa 1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat, Helsinki: Ympäristöministeriö
- [4] Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet, SFS-EN 1990, Helsinki: Suomen standardisoimisliitto, 2006. Saatavissa (viitattu 8.3.2019): <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/150857.html.stx>
- [5] 10/16 Ympäristöministeriön asetus rakenteiden onnettomuuskuormia koskevista kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN 1991-1-7, Ympäristöministeriö, 2016
- [6] Liitosten mitoitus onnettomuuskuormille, Betoninormikortti 23 EC, Suomen Betoniyhdistys ry, 2012
- [7] Rengasraudoitus ja sen ankkurointi, Elementtisuunnittelu.fi, 2010, päivitetty 9.4.2010. Saatavissa (26.4.2019): <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/liitokset/liitosten-toiminta/rengasraudoitus>
- [8] P. Häyrynen, Ontelolaatastojen suunnittelukurssi, Elementtisuunnittelu.fi, 2012, päivitetty 21.11.2012. Saatavissa (26.4.2019): http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23908/Ontelolaataston_suunnittelukurssi_2012-H%c3%a4yrynen.pdf
- [9] Insinööritoimisto Jonecon Oy:n rakennesuunnitelmat
- [10] PSK-Seinäkengän vaihtaminen SUMO-seinäkenkään, Peikko Group Corporation, verkkosivu, 2015. Saatavissa (viitattu 14.5.2019): https://www.rttuotetieto.fi/pub/media/resources/32494_32494_Peikko_PSK-Seinakengan_vaihtaminen_SUMO-Seinakengaan_10-2015.pdf

- [11] Asuinkerrostalon esimerkkilaskelmat, Elementtisuunnittelu.fi, verkkosivu, 2010. Saatavissa (viitattu 14.5.2019): [http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23641/Asuinkerrostalon%20mallilaskelmat ver 5 20131115.pdf](http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23641/Asuinkerrostalon%20mallilaskelmat%20ver%205%2020131115.pdf)
- [12] Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, RIL 201-1-2017, 2017.
- [13] R. Nelsson, The collapse of Ronan Points, 1968 – in pictures, The Guardian, päivitetty 16.05.2018. Saatavissa (18.5.2019): <https://www.theguardian.com/society/from-the-archive-blog/gallery/2018/may/16/ronan-point-tower-collapse-may-1968>
- [14] Lipsanen, J. (2019). Diplomi-insinööri, rakennesuunnittelun osastopäällikkö, Insinööritoimisto Jonecon Oy, Tampere. Haastattelu 14.5.2019.